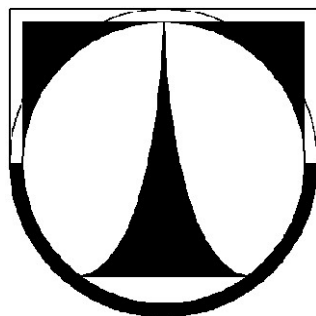


Technická univerzita v Liberci  
Fakulta strojní



Lucie Koštejnová

# **Optimalizace výrobní linky**

Diplomová práce

2012

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor : Výrobní systémy

Zaměření : Pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu

**OPTIMALIZACE VÝROBNÍ LINKY  
OPTIMIZATION OF ASSEMBLY LINE**

KVS - VS - 221

Lucie Koštejnová

Vedoucí práce : doc. Dr. Ing. František Manlig

Počet stran : 54

Počet příloh :

Počet obrázků : 27

Počet tabulek : 3

Počet modelů

nebo jiných příloh :

V Liberci 24.5.2012

Diplomová práce KVS - VS - 221

**TÉMA : ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY POSILOVAČŮ SPOJEK VČETNĚ  
ANALÝZY ZÁSOBOVÁNÍ**

**ANOTACE :**

Diplomová práce je zaměřena na zefektivnění montážní linky posilovače spojky Monoblok a analýzu zásobování ve firmě KNORR-BREMSE, Systémy pro užitková vozidla, s.r.o. Zabývá se identifikací úzkých míst v procesu, návrhem na jejich řešení a ověřením těchto návrhů na simulačním modelu.

**THEME : REENGINEERING OF THE CLUTCH SERVO MANUFACTURING  
AND ANALYSIS OF LOGISTICS**

**ANNOTATION:**

The diploma thesis is focused on the reengineering of the clutch servo Monoblok assembly line as well as the analysis of the logistics in the company *KNORR-BREMSE, Systems for commercial vehicles, Ltd.* The thesis deals with the bottlenecks identification in the process of manufacturing with the proposal of these bottlenecks solution as well as with the verification of these proposals on the simulation model.

Desetinné třídění : 221

**Klíčová slova : simulační model, optimalizace, výrobní kapacita, úzké místo**

Zpracovatel : TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno : 2012

Archivní označení zprávy :

Počet stran : 54

Počet příloh :

Počet obrázků : 27

Počet tabulek : 3

Počet modelů

nebo jiných příloh :





## **Prohlášení**

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis



## **Poděkování**

Touto cestou bych ráda vyjádřila své velké díky doc. Dr. Ing. Františku Manligovi za odborné vedení a věcné připomínky k diplomové práci.

Rovněž také pánům Ing. Tomáši Kloudovi a Ing. Janu Vavruškovi za konzultace při realizaci praktické části.

Dále bych chtěla poděkovat panu Václavu Jirátkovi za věnovaný čas a výbornou spolupráci.

Velké díky patří celé mé rodině, která mi umožnila dostudovat a byla mi velkou oporou při tvorbě diplomové práce.

*Realizace této práce byla podpořena projektem studentské grantové soutěže TUL Komplexní optimalizace výrobních systémů a procesů (interní číslo projektu 2821) v rámci specifického vysokoškolského výzkumu.*

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>1 Teoretická část</b>	<b>10</b>
1.1 Štíhlá výroba (Lean Production)	10
1.1.1 DMAIC	11
1.1.2 JIT a JIS	11
1.1.3 Kanban	12
1.1.4 Jidoka	13
1.1.5 Kaizen	14
1.1.6 Heijunka	14
1.1.7 5S	15
1.1.8 One piece flow	15
1.1.9 MOST	16
1.1.10 Balancování linky	17
1.2 Simulace výrobních systémů	18
1.2.1 Principy simulace:	18
1.2.2 Plant simulation	19
<b>2 Praktická část</b>	<b>21</b>
2.1 Představení firmy Knorr-Bremse s.r.o.	21
2.2 Analýza současného stavu montážní linky	22
2.3 Návrhy řešení	40
2.3.1 Návrh řešení číslo 1	40
2.3.2 Návrh řešení číslo 2	42
2.3.3 Návrh řešení číslo 3	43
2.3.4 Návrh řešení číslo 4	45
2.3.5 Návrh řešení číslo 5	46
2.4 Vyhodnocení návrhů	50

<b>3</b>	<b>Závěr</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>Seznam obrázků</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>Seznam tabulek</b>	<b>53</b>
	<b>Literatura</b>	<b>54</b>

## Seznam použitých zkratk a pojmů

JIT	(Just in time) výroba ve správný čas
JIS	(Just in sequence) výroba ve správném pořadí
MOST	(Maynard Operation Sequence Technique) nepřímá metoda měření spotřeby času pracovní činnosti
SMED	(Single Minute Exchange of Die) výměna nástroje během minuty
DMAIC	(Define measure analyze improve control) metoda pro řešení problému v procesu
FIFO	(First in First out) systém přesouvání materiálu první dovnitř-první ven
5S	metoda zavádění pořádku na pracovišti
Milk run	systém zásobování materiálu v rámci jedné trasy
ATESO	výrobce součástí pro osobní a nákladní automobily
Kanban	(štítek) systém dílenského řízení výroby
Jidoka	princip detekce chyb při výrobě
Kaizen	metoda malých krůčků ke zlepšení
Heijunka	metoda uspořádání zakázek ve výrobě
TMU	(Time Measurement Unit) měřící jednotka času
SAP	software pro systémové řízení podniku
FTF	first test failures
NOK	označení vadného dílu
OK	označení dobrého dílu

## Úvod

V současné době, kdy se průmysl nachází v krizovém období, i když ke globálnímu poklesu ekonomik došlo již v roce 2009, je třeba věnovat pozornost efektivnímu řízení procesů a jeho změn. Díky stále většímu tlaku na snížení výrobních nákladů a zkracování průběžných časů, ale na druhou stranu vysoké nároky na kvalitu, je zcela na místě využít moderní metody řízení výroby. Aby bylo možné si úspěšně udržet pozici na trhu, je nutné provádět mnoho složitých změn za velmi krátký čas a to přináší riziko velkých ztrát při chybných rozhodnutích v procesu. Čím jde toto riziko eliminovat? Použití nástrojů, kterými se dokáže předvídat či odzkoušet proces podle předem daných kritérií a parametrů. Dnes, ve věku závratnou rychlostí se rozvíjejících informačních technologií, již není takový problém si nadefinovat a prozkoumat reálné činnosti ve virtuálním světě. Prostřednictvím simulačního modelu je možné provádět změny, které lze vyhodnotit ještě před tím, než jsou realizovány. V současné době tedy firmy využívají těchto technologií k nalezení úzkých míst ve výrobních systémech. Firma KNORR-BREMSE klade důraz dodržování standardů kvality a využití metod štíhlé výroby. Stále hledá místa pro zlepšení ve všech podnikových procesech a proto vznikl jeden z návrhů na téma diplomové práce, který se týká optimalizace montážní linky posilovače spojky.

Diplomová práce se tedy zabývá analýzou montážní linky posilovače spojky včetně zásobování s cílem nalézt úzká místa v procesu výroby. Následně jsou popsány návrhy na řešení těchto úzkých míst.



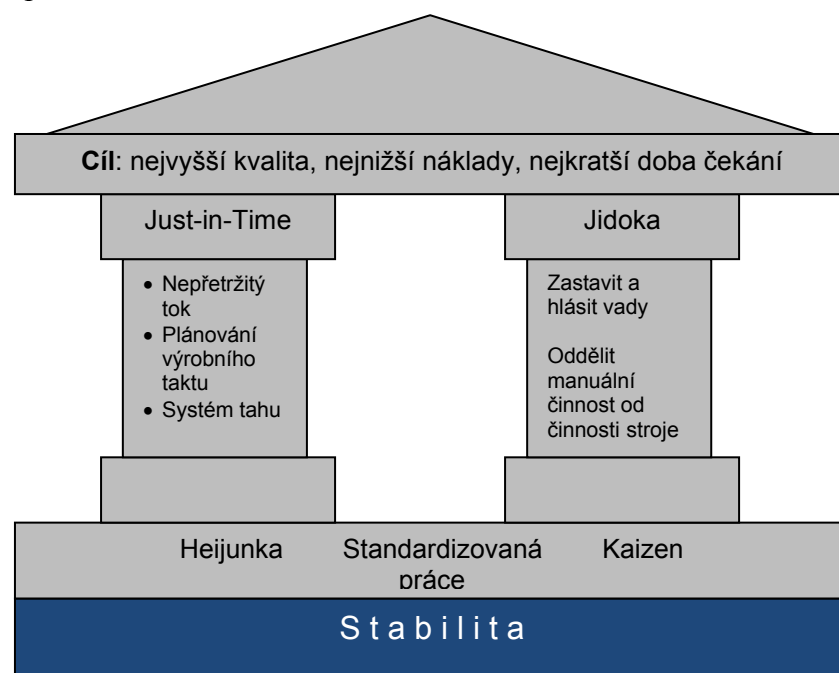
# 1 Teoretická část

Při zkoumání a následném navrhování nových řešení v pracovních procesech je vhodné použít několik již zavedených metod a nástrojů. Jakých nástrojů bylo využito v tomto projektu je popsáno zde.

## 1.1 Štíhlá výroba (Lean Production)

Štíhlá výroba je podniková filosofie, která je zaměřená na zákaznické požadavky. Vyrábět jen tolik, kolik je třeba, s co nejnižšími náklady, v co nejkratším čase, bez ztráty kvality. Teorie štíhlé výroby se snaží eliminovat plýtvání v procesu. [3]

Ve všech ohledech se štíhlá výroba opírá o maximální spolupráci a motivaci lidí se touto filosofií řídit. Existuje několik metod, jejichž pomocí lze docílit štíhlého podniku.

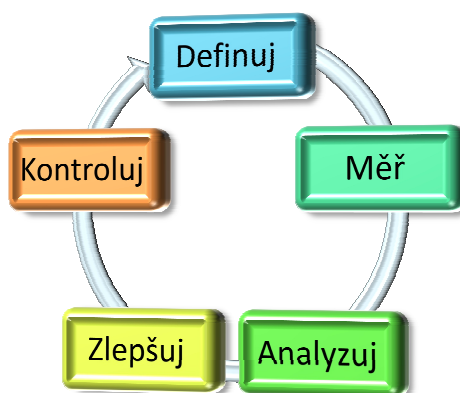


**Obr.1: Toyota Production System „dům“[5]**

Kořeny této převratné filosofie jinak zvané systém výroby firmy Toyota, tedy TPS, sahají až do roku 1894, kdy Sakichi Toyoda začal vyrábět ruční tkalcovské stavy. S potřeby ulehčit práci začal experimentovat s použitím, tehdy běžného zdroje energie, parního stroje. Toto experimentování (pokus-omyl) se stalo základem souboru zásad, hodnot a přístupů firmy Toyota viz.obrázek 1. [5]

### 1.1.1 DMAIC

Metodika pro zlepšování a nalezení nejlepších cest v podnikových procesech. Je rozložena do pěti na sebe navazujících kroků podle obrázku 2.



**Obr.2: Cyklus metodiky DMAIC**

Define (definuj) hned na počátku musí být identifikována a popsána oblast procesu, která se má zlepšit. Stejně důležitou činností v tomto kroku je určení cíle a prostředků, kterých má být dosaženo.

Measure (měření) je získání co nejvíce informací o procesu, jenž se má zlepšovat.

Analyse (analýza) zjištění skutečné příčiny problému. Pro analýzu je potřeba použít vhodnou metodu např. 5 Why (5 Proč)? A také se v této etapě ověřují parametry nadefinované v kroku Měření, zda jsou opravdu problematické či nikoliv.

Improve (zlepšení) je krokem, ve kterém by měl být nalezen nejlepší způsob pro zlepšení. Tento návrh je ověřen a vyhodnocen.

Control (kontrola) krok ověření, zda byly všechny změny provedeny až do konce. Potvrzuje, že změny přinesly trvalé a nikoli náhodné zlepšení.[9]

### 1.1.2 JIT a JIS

Patří mezi základní pilíře štíhlé výroby. JIT filosofie je systém provázaných výrobních procesů, které jsou zásobovány požadovaným materiálem, v požadovaném množství, kvalitě a čase. Tok materiálu závisí na poptávce. JIS systém zásobování ve správném pořadí. [3],[7]

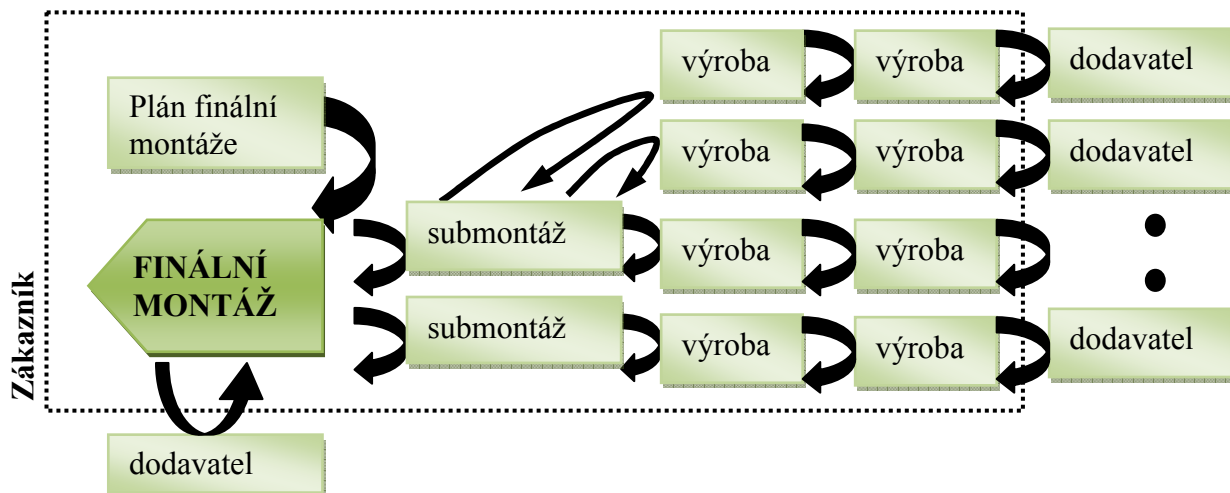
JIT systém je navržen tak, že nedochází ke zbytečnému skladování zásob či rozpracované výroby. Funguje zde tah, zákazník žádá zboží a dodavatel musí

zboží vyrobit v daný čas (přesně) a nejlepší kvalitě. Výrobní systém získá větší pružnost, pokud ovšem zásobování zkrátí čas doplňování. Zkrátí se cyklus plánování, pokud výroba a logistika spolupracují. Výrobní toky se zrychlují nebo zpomalují v závislosti na změnách poptávky. S tím jsou spojeny přesuny pracovníků mezi linkami, zvyšování počtu pracovníků na jedné linkách, snižování na linkách jiných. Nevýhodou je zatížení s hlediska přepravy, menší balení sebou nese větší frekvenci dopravy. S tím souvisí náročnost odbavování.

JIS je filozofie, která je založena na konceptu Just in Time. Na rozdíl od JIT je ale v JIS definován větší důraz na načasování a pořadí doručení. To znamená, že materiály a součásti jsou doručeny na montážní linku nejen přesně na termín spotřeby ale také synchronně s pořadím výroby, takže by neměly být žádné prodlevy. Má-li být tento systém úspěšně využíván, musí být podmínky pro JIT ještě přísnější a přesně udržovány. Tento pojem se využívá hlavně v automobilovém průmyslu, aby proces zadávání veřejných zakázek mohl být do značné míry zjednodušen. JIS se používá u rozsáhlých komponentních dílů, které se dají upravovat podle specifických zákaznických požadavků.[10]

### *1.1.3 Kanban*

Kanban je úzce spjatý s JIT. Tahová strategie aplikovaná na tok materiálu je zajištěna pomocí karet, které specifikují, co a kdy se má přesunout. Kanban zjednodušuje celý informační systém, redukuje se zásoby a zkvalitňuje se plnění termínů. Podstatou technologie Kanban je vytvoření samoregulačních okruhů, zahrnujících vždy dva sousední výrobní stupně jako na obrázku 3. Mezi těmito stupni kolují karty, které představují interní objednávky.[4]



**Obr.3: Kanban – princip řízení výroby [4]**

Aby byla technologie Kanban dodržena je potřeba se řídit těmito pravidly[4]:

- Personál následujícího pracoviště musí odebrat materiál z předcházejícího podle karty.
- Vyrábí nebo dodává se jen to, co požaduje karta
- Nejsou-li na pracovišti žádné karty, nesmí být vyvíjena žádná činnost
- Karty se fyzicky pohybují zpět vždy s materiálem
- Personál odpovídá za 100% kvalitu dodávaného materiálu

#### 1.1.4 Jidoka

Dalším pilířem štíhlé výroby je systém Jidoka, který se zaměřuje na kvalitu ve výrobním procesu. Vznikne-li závada, musí být proces ihned zastaven a problém okamžitě řešen. Řešení abnormalit v reálném čase umožňuje efektivně odhalovat a eliminovat skutečné kořenové příčiny vad. Okamžité zastavení procesu navíc psychologicky působí na pracovníky a tlačí je k zásadním procesním zlepšením, ale také k odhalení problémů, které by v případě pokračování procesu zůstali skryty. Pro detekci se využívá jak lidských zdrojů, tak strojů, nejlépe kombinace. Technické zařízení monitoruje zpracovatelský

proces, tím nahrazuje lidské zdroje. Pokud ovšem se vyskytne v procesu abnormalita daného druhu poprvé, stroj k tomu není nastaven, uplatňuje se zde lidský potenciál.[3]

Přerušení zpracovatelského toku by však mělo být nastaveno na tzv. fixní pozici. Pokud by došlo k okamžitému zastavení, nastala by celá řada problémů na ostatních pracovištích s ještě nedokončenými cykly. Fixní pozice označuje okamžik, kdy by měly být ukončeny pracovní úkony na všech následujících a předcházejících pracovištích.[3]

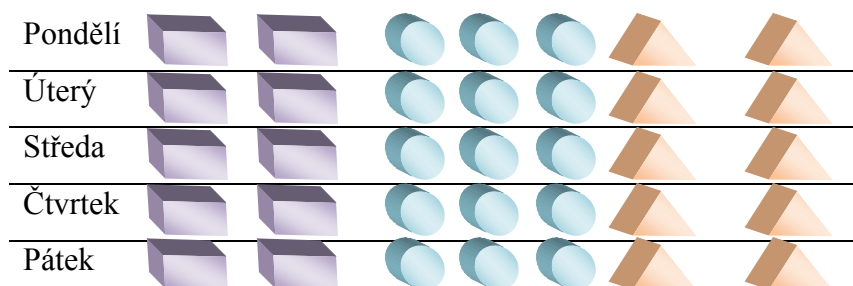
#### *1.1.5 Kaizen*

Strategie, kterou japonský management považuje za klíčový pojem k hospodářskému úspěchu a konkurenceschopnosti. Filosofie Kaizen předpokládá, že náš způsob života, ať už pracovního, společenského či domácího, si zaslouží neustálé zdokonalování. Kaizen začíná přiznáním, že každý podnik má problémy a tyto problémy řeší vytvořením firemní kultury. V pozadí strategie je úsilí o uspokojování potřeb zákazníka, tedy všechny aktivity by měly vést ke zvýšení spokojenosti zákazníka. [11]

Kaizen je metoda, která se snaží o efektivní zlepšování procesu a to krůček po krůčku. Prochází napříč celým výrobním systémem. Jakákoli nová myšlenka, nápad na zlepšení v jakémkoli odvětví je vítána. Touto metodou se docílí mimo jiné lepšího pracovního nasazení, ohleduplnosti a komunikaci na pracovišti. Každý problém je popsán do nejmenších detailů. Příčiny se zanalyzují a je naplánované opatření k jeho odstranění. Posledním principem je realizace a vyhodnocení opatření.[11]

#### *1.1.6 Heijunka*

Heijunka znamená rozvržení produkce každého dne tak, aby bylo vyrobeno mix výrobků ve stejném množství. Nastaví se každodenní plánovaná hladina, která zahrnuje aktuální požadavky zákazníků a je určen vzorec objemů a výrobní mix. Vychází se z celkového objemu objednávek za určité období. Tato metoda eliminuje pracovní přetížení. Obrázek 4 demonstruje optimální rozvržení produkce jednotlivých typů výrobků.[13]



**Obr.4: Rozložení zakázek**

#### 1.1.7 5S

Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke tedy organizace, uspořádání, čištění, standardizovaná uklizenost, disciplína. Pět zásad, bez kterých nelze více uvedené metody implementovat.

Organizace znamená pevné rozlišení, co je a není důležité na pracovišti. Využívá se pravidlo četnosti využití.

Uspořádání znamená rozmístění předmětů tak, aby bylo zajištěna, podle četnosti využití, jejich dosažitelnost.

Zavedení čištění, přináší několik výhod. Mimo zpříjemnění pracovního prostředí, je tím zajištěna kontrola pracoviště.

Standardizovaná uklizenost znamená zavedení organizace, uspořádání a čištění do podvědomí, stává se tedy normou.

Disciplína znamená dodržování všech norem a předpisů, vyžaduje vzdělávání a vhodně zvolenou komunikaci s pracovníky. [3]

#### 1.1.8 One piece flow

Dalším nástrojem tahové strategie ke zjištění plýtvání v procesu je zavádění toku jednoho kusu. Výroba je uzpůsobena tak, aby bylo možné vyrábět jeden výrobek postupně po jednotlivých operacích po sobě jdoucích. Nejsnáze se tím odhalí skryté plýtvání v procesu a v neposlední řadě je rychleji rozpoznána nekvalita. [13],[15]

Podmínky pro tok:

- Uspořádat výrobní procesy a stroje ve výrobním sledu – tedy uspořádání linky do tvaru písmene U
- Synchronizace (sladění) procesů a operátorů za účelem uspokojování potřeb klientů a dalších procesů
- Využít obsluhu více procesů najednou. Operátor se může pohybovat od jedné operace na lince k druhé a v některých případech může obsluhovat celou linku ve tvaru U sám.
- Školení operátorů ve více dovednostech, které potom využijí pro obsluhu více procesů najednou.
- Stát při práci, aby byli operátoři dostatečně mobilní při přesunu mezi více pracovními operacemi

Pokud tedy všechny tyto podmínky jsou splněny, lze úspěšně realizovat tok jednoho kusu.[15]

#### *1.1.9 MOST*

MOST je jeden ze systémů metod předem určených časů. Lidská činnost je složena ze souboru pravidelně se opakujících pohybů a úkonů. Tyto „základní“ úkony, které provádí zapracování operátoři, se s minimálními odchylkami časově shodují. Jakékoliv činnosti se tedy dají identifikovat podle předdefinovaných indexů. Základní jednotkou měření je 1 TMU (Time Measurement Unit) 1 sekunda = 22,8 TMU.

Podle délky trvání jednotlivých operací lze volit mezi čtyřmi aplikacemi MOSTu a to Maxi, Basic, Mini nebo Admin. Díky MOSTu se lépe definují časy pro stávající operace. Měření stopkami není zcela objektivní. Je možné použít i v případě teprve plánovaných procesů. Tento systém je nejvíce využíván pro svou rychlost, s jako je možné navrhovat časové normy. Jsou ale případy, kdy nelze těchto metod využít a to při měření strojního či procesního času a nebo čekání. [14]

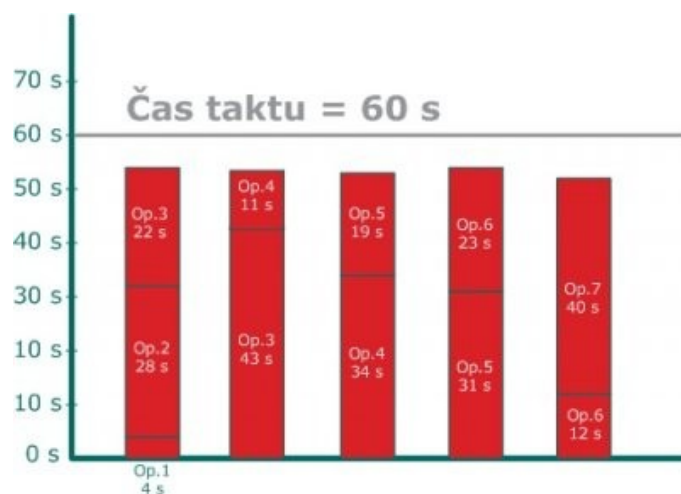
### 1.1.10 Balancování linky

Balancování linky je snaha o rovnoměrné rozdělení pracovních činností na lince mezi operátory s cílem dosažení stejného pracovního zatížení. Tato činnost je ovlivněna náročností technologie provádí se analýzou jednotlivých procesů, jako je výpočet taktu, počet operátorů dle pracnosti a po té rozdělení činností mezi operátory. Vybalancováním linky se zefektivňuje využití strojního zařízení a lidské práce.



Obr.5: Před balancováním linky [6]

Z obrázku 5 je patrné, že při operaci 1 dochází k nadprodukci, která vede k dalšímu plýtvání. Na operaci 3 dochází k omezení a následně k přepracování. Na operaci 4 dochází k čekání na operaci 3. Proto je nutné přeskupit práci tak, aby se časy porovnaly a odstranila se úzká místa a byl vytvořen plynulý tok výroby viz. obrázek 6.



Obr.6: Po balancování linky[6]



Ovšem společně s balancováním je nutné časově sladit i přípravu předmontáží. K vybalancování linky se využívá doba cyklu.

### *Čas cyklu*

Doba cyklu ukazuje maximální čas operátora k dokončení činnosti určitého výrobku na daném pracovišti a to před odložením výrobku k dalšímu pracovišti. Udává tempo výrobní linky na kus.

### *Čas taktu*

Doba taktu je ukazatel, který definuje tempo výroby produktů tak, aby byla uspokojena poptávka od zákazníků. Takt je teoretické číslo, které udává kolik produktů je potřeba vyrobit, aby byly požadavky zákazníka splněny.

$$\text{Čas taktu} = \frac{\text{Čistý pracovní čas za směnu}}{\text{Požadavek zákazníka na směnu}}$$

Doba taktu nezůstává stabilní, mění se dle požadavků zákazníka. Jestliže je poptávka vyšší, zrychluje se tempo výroby a opačně.

## 1.2 Simulace výrobních systémů

Simulace je metoda, která slouží k analýze podnikových procesů pomocí počítačového modelu. Touto metodou lze jakkoli experimentovat se změnami v procesu, protože změny v simulačním modelu nic nestojí. Výsledky pomáhají k nalezení úzkých míst v systému a aplikaci optimálního řešení. [1]

### *1.2.1 Principy simulace:*

Idea simulace je napodobit reálný podnikový proces pomocí počítačového programu a následně, při změnách prováděných v modelu, pozorovat jeho chování. Simulace vychází původně z metody Monte Carlo. Metoda Monte Carlo

je charakteristická tím, že je vytvářena pravděpodobnostní úloha, která slouží k experimentování a její řešení je shodné s původní úlohou. Řešení je tedy statistický odhad, přičemž s počtem pokusů roste jeho přesnost. [1] [2]

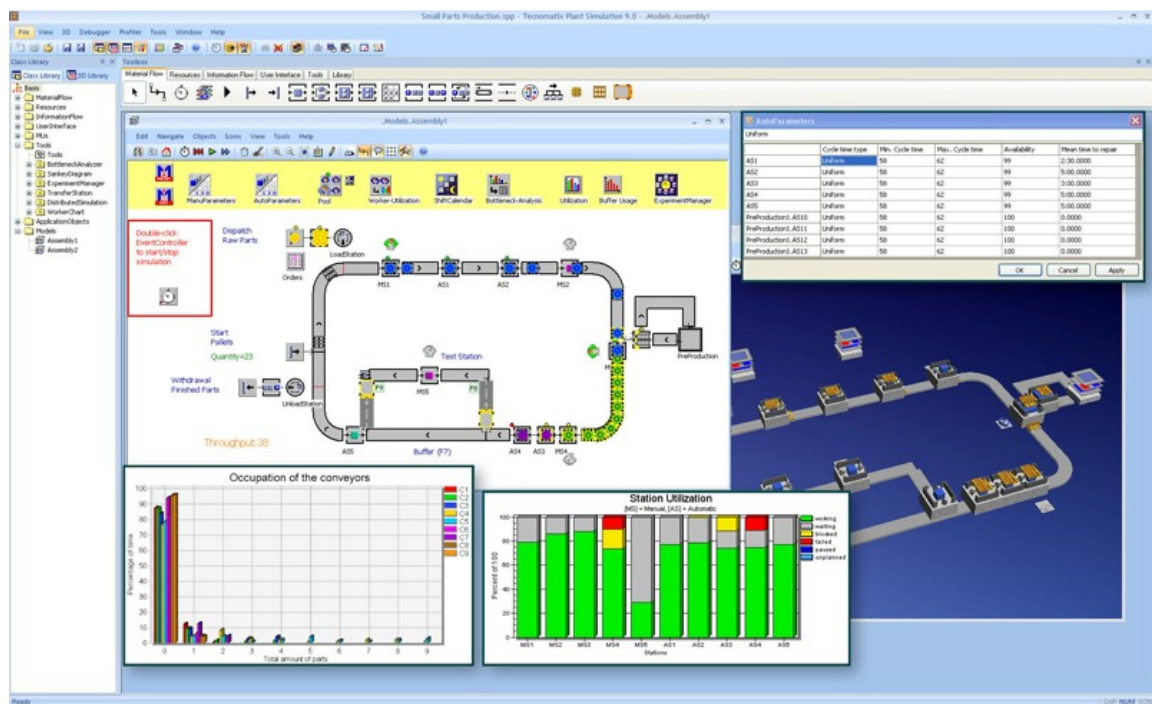
Předmětem zájmu je simulace části reálného světa (podniku), což je systém diskrétních událostí. Simulační model je složen z entit (transakcí), aktivit a zdrojů. Entita je dynamický objekt, který se pohybuje v průběhu času systémem: vstupuje do systému, vyžaduje provedení určitých činností, dočasně obsazuje nebo spotřebovává zdroje a nakonec systém opouští. Procesy jsou souhrny vzájemně provázaných činností tedy aktivit, které vytvářejí určitou novou hodnotu ve formě výstupu pro následující procesy. Zdroj je entitou využíván nebo spotřebováván v průběhu času. [1]

Výstupem takového simulačního modelu jsou ukazatelé, jenž byli definované uživatelem. Ukazatelé mají grafickou nebo numerickou formu a závisí na povaze modelovaného systému či požadavcích uživatele. Typickými ukazateli jsou výkonové charakteristiky systému jako: výrobní kapacity, spotřeba zásob, počet požadavků (výrobků, zakázek) na systém, výrobní cyklus, náklady na výrobky, procesy, činnosti atd. [1]

Simulační model nám může poskytnout i nové pohledy na proces z hlediska vizualizace, detailního popisu struktury procesu, získávání dat, která dosud nebyly sledovány. Model však může sloužit také jako učební materiál při samotné tvorbě modelu, identifikaci problémů, formulaci cílů atd. [1]

### *1.2.2 Plant simulation*

Plant simulation je nástroj pro simulaci diskrétních událostí. Pomáhá vytvářet model výrobních systémů, aby bylo možné experimentovat s vlastnostmi systému a optimalizovat jeho výkonnost. S jeho pomocí je vytvořen digitální model výroby, věrný reálnému procesu výroby. Nasimulování různých výrobních scénářů (co se stane, když...) získáme, díky grafům, statistikám a analytickým nástrojům, přesné vyhodnocení. Výsledné informace slouží při rozhodování o výrobních změnách.[8]



Obr.7: Pracovní prostředí Plant Simulation

## 2 Praktická část

### 2.1 Představení firmy Knorr-Bremse s.r.o.

Společnost Knorr-Bremse byla založena v roce 1905 inženýrem Georgem Knorrem v Berlíně a soustředila se na výrobu brzd pro kolejová vozidla. Postupem času se výroba rozšířila i na brzdy pro nákladní automobily. Začátek strojírenské výroby v Hejnicích je datován do roku 1957 a to výrobou hydraulických a mechanických zvedáků pro automobily firmou AUTOBRZDY a.s. Jablonec nad Nisou. V roce 1968 odstartovala výroba vzduchotlakových brzdových systémů pro nákladní a užitková vozidla pod názvem ATESO. Vlivem politických změn a cenové liberalizaci v roce 1991 klesla poptávka o 80%, a proto v roce 1993 vznikl společný podnik Knorr-Autobrzdy Jablonec a s majoritním podílem 67% Knorr-Bremse Mnichov.

Později vznikla, úplným odkoupením zbývajícího podílu, společnost Knorr-Bremse Systémy pro užitková vozidla, s.r.o se sídlem v Hejnicích (přesněji 1998). Od roku 2009 sídlí již na nové adrese v Průmyslové zóně Sever Liberec.

Výroba je zaměřena na hlavní brzdiče (MB), posilovače spojky (VG) na obrázku 8, membránové válce (BS) a vysoušecí patrony (FP). Doplnujícím výrobním programem jsou přístroje ATESO a součástková kooperace pro další evropské závody Knorr-Bremse.

Odštěpné závody se nachází nejen v Evropě, ale i v Asii, Severní a Jižní Americe.

Mezi hlavní zákazníky patří TATRA, DAF, IVECO, DAEWOO, EVOBUS, KamAZ, VOLVO, SCANIA, MAN, RENAULT BUS,...

Práce je zaměřena na výrobu posilovače spojky – monoblok (viz.obrázek 8).



**Obr.8: Monoblok**

## 2.2 Analýza současného stavu montážní linky

Montáž dílu je rozložena do dvou úseků, zkouška mikroporozity tělesa a samotná montáž. Jelikož je testování mikroporozity časově náročné, jsou vytvářeny tak zvané „před-zakázky“, aby bylo možné dodržet termíny dodávek.

V prvním úseku:

- Pochromované těleso se vyfouká a namaže na mazacím přípravku
- Na přípravek se nasadí pojistný kroužek, na ventilové sedlo se nasadí předmazaný o-kroužek a poté se sedlo usadí na přípravek. Dále se na přípravek vsadí předmazaný ventilový talíř, gumovou plochou směrem dolů a navleče se na něj pružina, pouzdro a o-kroužek
- Na osazený přípravek je nasazeno těleso, dotlačí se, uvolní se blokový pojistný kroužek a při uvolnění tělesa se ověří zajištění kroužku
- Těleso se natlakuje na  $13 \pm 2$  bar, přiloží se lístek s hodnotou a časem tlakování a uloží se na 12 hod do zásobníku
- Po zkoušce se porovná lístek s manometrem a těleso se odtlakuje, při rozdílu hodnot 0,3 bar se buď těleso opraví a nebo vymetkuje,

dobrá tělesa se označí osobním razítkem operátora a osadí se krytkou

K samotné montáži se buď tělesa přesunou manipulantom přímo k lince a nebo jsou uložena do meziskladu. Na montáži je sedm operací:

#### **Operace 1 - montáž malého pístu do tělesa**

- Z tělesa se sejme krytka, namaže se na mazacím přípravku a založí se na zakládací přípravek lisu
- Do přípravku se založí předmazaná u-manžeta a malý píst
- Na malý píst se usadí pravá kuželka, přes kterou se navlékne o-kroužek do drážky na malém pístu, pravá kuželka se odstraní
- Na píst se usadí levá kuželka, přes kterou se navlékne o-kroužek s bílou tečkou do druhé drážky a kuželka se opět odstraní, dále se na píst navlékne tlačná pružina a na ní objímka
- Celá podsestava se založí do tělesa, pístek se procykluje pomocí přípravku a zajistí se jehlou
- Na uzavírací zátku se navlékne předmazaný o-kroužek a usadí se na ni kroužek, podsestava se po té uloží přes naváděcí kroužek do tělesa
- Založí se pojistný kroužek a zalisuje se do tělesa

#### **Operace 2 – montáž hydraulické části do tělesa**

- Těleso se namaže na přípravku a po té zavede naváděcí kroužek zatlačením tělesa na první přípravek
- Na druhý zakládací přípravek se naskládají díly podle předlohy tzv. spodek
- Na třetí zakládací přípravek se naskládají díly podle předlohy tzv. vršek
- Do tělesa se zavedou díly zatlačením na přípravek druhý, po té se vyjme naváděcí kroužek, a dále se zavedou díly zatlačením na třetím přípravku

- Těleso je odloženo k operaci pět

### **Operace 3 – montáž vaku**

- Vak se provlékne do příruby orientován dle výkresu a je odložen k operaci pět

### **Operace 4 – montáž velkého pístu**

- Do pístnice se vloží o-kroužek, na pístnici se nasadí píst a o-kroužek, na píst se nasadí předmazaná u-manžeta
- Na kotouč je nasazen bílý vodící kroužek a kotouč se zamáčkne na podsestavu
- Na pístnici se nasadí kleštěmi pojistný kroužek, po té je tento díl odložen k operaci pět

### **Operace 5 – kompletace přístroje**

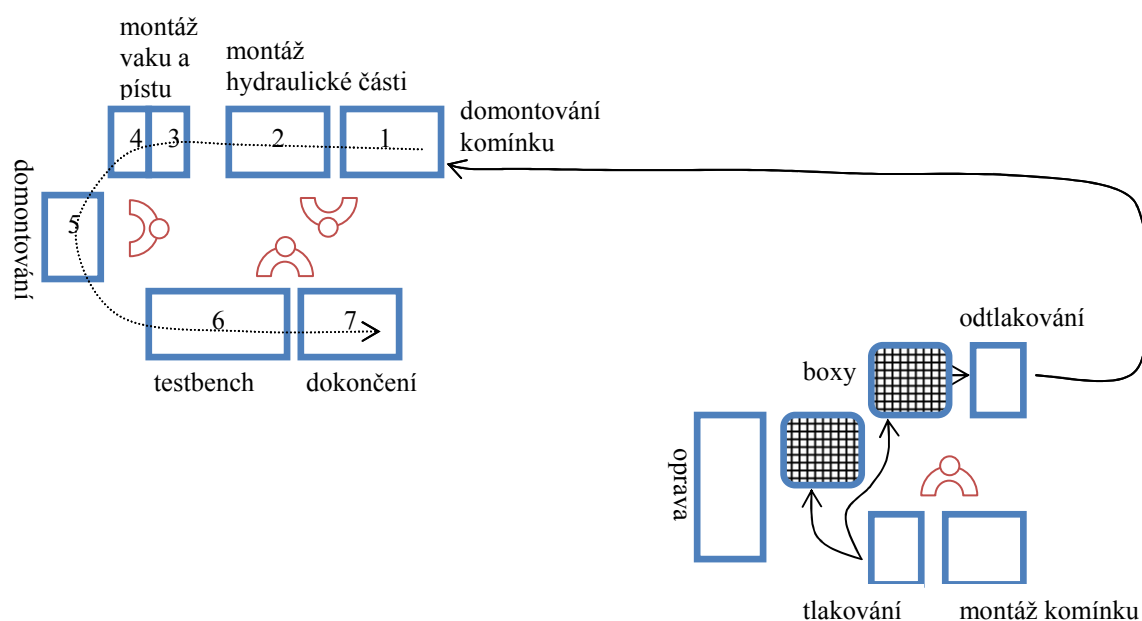
- Těleso se upne do přípravku, vloží se do něj průchodka, nasadí se trubka a vloží se horní průchodka
- Do tělesa se vloží tlačná pružina, pomocným zdvihátkem se vloží podsestava velkého pístu do mazacího přípravku a následně do pružiny v tělese, zamáčkne se, zajistí pákou a odloží pomocné zdvihátko. Dvouručním ovládním se spustí mazací přípravek
- Nasadí se definitivní zdvihátko a na něj navlékáci přípravek, s jehož pomocí se navlékne podsestava vaku z operace 3
- Založí se přípravek, do něj se vloží 4 šrouby, do kříže se zašroubují, kalibrem se zkontroluje výška zašroubování, přípravek je odložen a přístroj se odkládá k operaci šest

### **Operace 6 a 7 – zkouška a dokončení**

- Pouze u jednoho s typů se zašroubuje zátko
- Zašroubují se odvzdušňovací šrouby momentový klíčem a přístroj je uložen do testovacího zařízení, kde se zkouší jeho funkčnost
- Po testování se NOK přístroje přenesou na pracoviště oprav, kde jsou přemontovány a znovu přeneseny k otestování

- OK tělesa se založí do přípravku pod kameru, namontuje se krytka, štítek membrána s víkem
- Přístroj se otočí v přípravku do druhé polohy, namontuje se filtr a ozubené kroužky pomocí trnu
- Přístroj se znovu otočí v přípravku do třetí polohy, namontují se zátky, krytka a vyrazí se značka operátora
- Přístroj se otočí štítkem pod kameru a spuštěním kamery se provede ve 3 krocích kamerová zkouška
- Přístroj je odložen k balení
- Balení se provádí podle balících předpisů

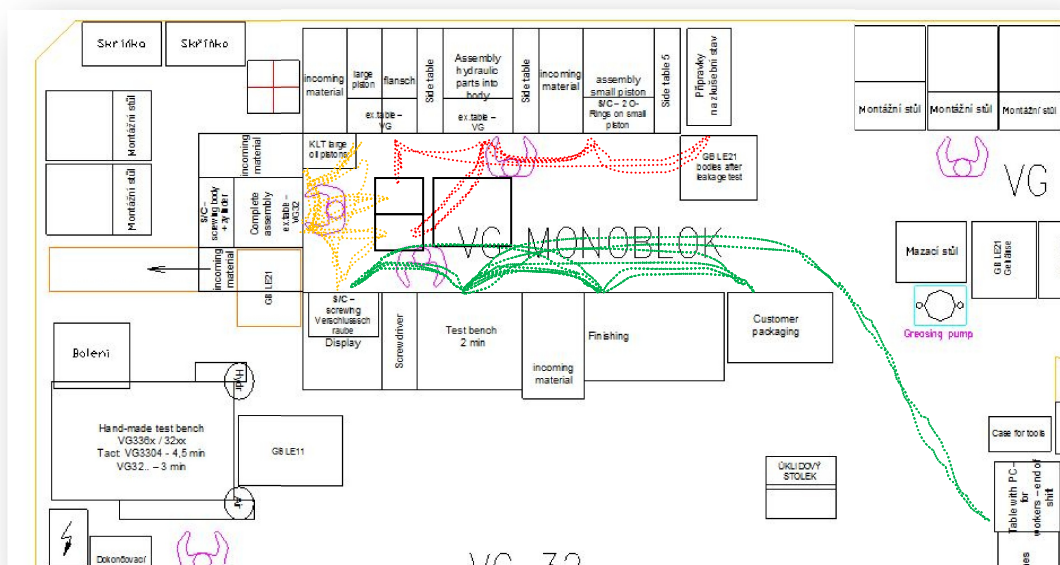
Montážní pracoviště je znázorněno na obrázku 9.



**Obr.9: Layout montáže**

Pracoviště tlakování obsluhuje jeden operátor. Manipulant přemístí díly po tlakování k montážní lince a samotnou linku obsluhují tři operátoři. První domontuje komínek, usadí hydraulickou část a připraví vak k domontování. Druhý operátor připraví dlouhý píst a zkompletuje všechny části dohromady. Třetí operátor obsluhuje testovací stroj a během testování provádí dokončení.

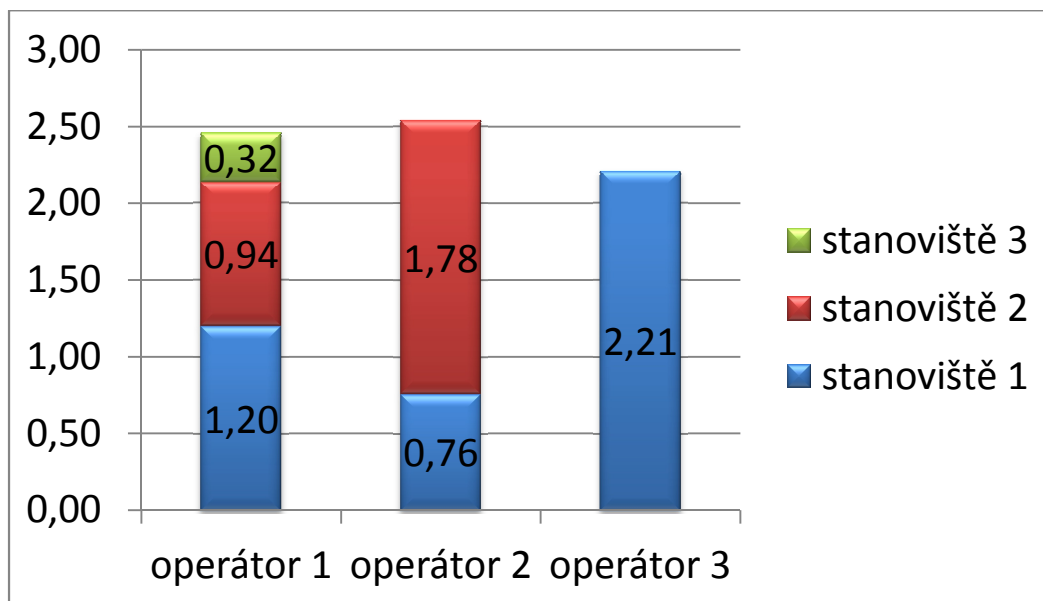




**Obr.10: Spagetti diagram pohybu operátorů na lince**

Na obrázku 10 je naznačen pohyb jednotlivých operátorů na montážní lince. Uvnitř linky jsou umístěny přepravy s připravenými díly pro montáž, což u tohoto typu uspořádání značně komplikuje pohyb operátorů. Operátor 1 se natahuje před bednu s přístroji k operaci zkoušení a odkládá tělesa na místo pro přípravu. Operátor 2 je nucen se otáčet pro materiál.

Časy operací byly získány pomocí BasicMOST metody a vychází z úkonů, které se mají na lince vykonat. Z MOST metody jsou vytvořeny i normy pro jednotlivé pracovní operace. Na obrázku 11 je znázorněn čas operací, které jsou přiřazeny k jednotlivým operátorům tak, aby byla linka co nejlépe vytaktovaná. Operátor 1 provede tři operace s jedním kusem v době trvání 2,46 min. Operátor 2 montuje na dvou pracovištích, při montáži jednoho kusu to dohromady trvá 2,54 min. Operátor 3 – zkoušeč má sice na starost testování a dokončení, ale protože testování probíhá a mezi tím se dokončují přístroje, je počítáno jen s jedním nejdelším časem tedy 2,21 min.



**Obr.11: Rozložení operací mezi operátory**

Rozdíl časů mezi prvním a druhým operátorem je 9 vteřin, což je ještě v určité toleranci. Ovšem výraznější rozdíl vzniká mezi prvním (druhým) a třetím operátorem, to je už 25 (34) vteřin, které se kompenzují opravou přístrojů a úpravou balení přístrojů.

Na lince se vyrábí dva typy posilovačů spojek „Monoblok“, jejichž kusovník se liší jen ve třech dílech. Seznam komponent k oběma typům je znázorněn v tabulce Tab.1.

Při seřizování linky z jednoho typu výroby na druhý typ je potřeba vykonat následující činnosti:

- Na zkušebním stavu zadat číslo zakázky a typ přístroje dle požadavku, seřadit upínání zkušebního stavu
- Změnit materiál na lince dle požadavku kusovníku a kontrola
- Připravit tělesa k lince
- Připravit prázdné balení k lince
- Vyměnit výkresy podle zakázky a tabulky s typovým označením zakázky

**Tab.1: Kusovník**

Komponenta	Název	Množství	MJ
<b>B67103</b>	O-krouzek	1	KS
<b>B79730</b>	Krouzek	1	KS
<b>B93435</b>	dráz.krouzek, U-manzeta	1	KS
<b>K003690</b>	Píst	1	KS
<b>K002524</b>	dráz.krouzek, U-manzeta	2	KS
<b>451006</b>	pojistný krouzek	2	KS
<b>C71142</b>	tlacná pružina	1	KS
<b>B91235</b>	O-krouzek	1	KS
<b>B955541</b>	vak, mech	1	KS
<b>C31247</b>	Filtr	3	KS
<b>B83037</b>	Membrána	1	KS
<b>B21507</b>	typový stítek	1	KS
<b>K002536</b>	výpust.sroub	4	KS
<b>K002540</b>	Píst	1	KS
<b>C60976</b>	tlacná pružina	1	KS
<b>Z008430</b>	kluzný krouzek	2	KS
<b>B67099</b>	uzavírací zátka	1	KS
<b>B82394</b>	pruchodka	1	KS
<b>Z011183</b>	pruchodka	1	KS
<b>453790</b>	tesnící krouzek	1	KS
<b>A3994710</b>	ochranná krytka závitů	1	KS
<b>A399476</b>	ochranná krytka závitů	1	KS
<b>Z016665</b>	Kotouc	2	KS
<b>K012699</b>	dráz.krouzek, U-manzeta	1	KS
<b>K012785</b>	rýhovaný hřeb	2	KS
<b>K012792</b>	rýhovaný hřeb	1	KS
<b>K012793</b>	pojistný krouzek	1	KS
<b>K012795</b>	uzavírací sroub	1	KS
<b>K012796</b>	ozubený krouzek	3	KS
<b>K012804</b>	Víko	1	KS
<b>K012797</b>	zdvihátko	1	KS
<b>K012803</b>	Trubka	1	KS
<b>K012831</b>	Příruba	1	KS
<b>K015238</b>	Objímka	1	KS
<b>K020262</b>	odvzdušňovací ventil	2	KS
<b>5700080000</b>	Mazivo	1	KS
<b>K053498</b>	Teleso	1	KS

Zásobování linky se provádí systémem KANBAN a probíhá trojím způsobem:

- část materiálu je na linku zaváženo Milk runem. Vláček projede kolem a podle potřeby je materiál doplněn.
- Další část materiálu, jedná se hlavně o drobné díly a ty, které je třeba před spotřebou namazat, si sami operátoři připraví z regálu na pracoviště. Regál je umístěn kousek od linky monobloku. Jsou v něm uloženy i díly pro ostatní typy posilovače spojky.
- Poslední část materiálu se naváží přesně na zakázku.

Vláček dováží materiál na linku v KLT přepravkách cca 1x za hodinu. Na montážní lince se využívá dvou typu přepravek. Malá přepravka viz. obrázek 12 s parametry:

Vnější rozměr – 396x297x147

Vnitřní rozměr – 346x260x130

Hmotnost = 1,1 kg

Objem = 11,8 l



**Obr.12: Malá KLT přepravka**

Montáž vyžaduje velké množství materiálu, které musí být operátorovi po ruce, proto je na lince nejvíce používaná tato přepravka malých rozměrů.

Velká přepravka nízká viz. obrázek 13 s následujícími parametry, která se využívá na lince pro rozměrné díly a dále i přípravu:

Vnější rozměr – 596x396x147

Vnitřní rozměr – 544x364x110

Hmotnost = 2,1 kg

Objem = 21,7 l



**Obr.13: Velká nízká KLT přepravka**

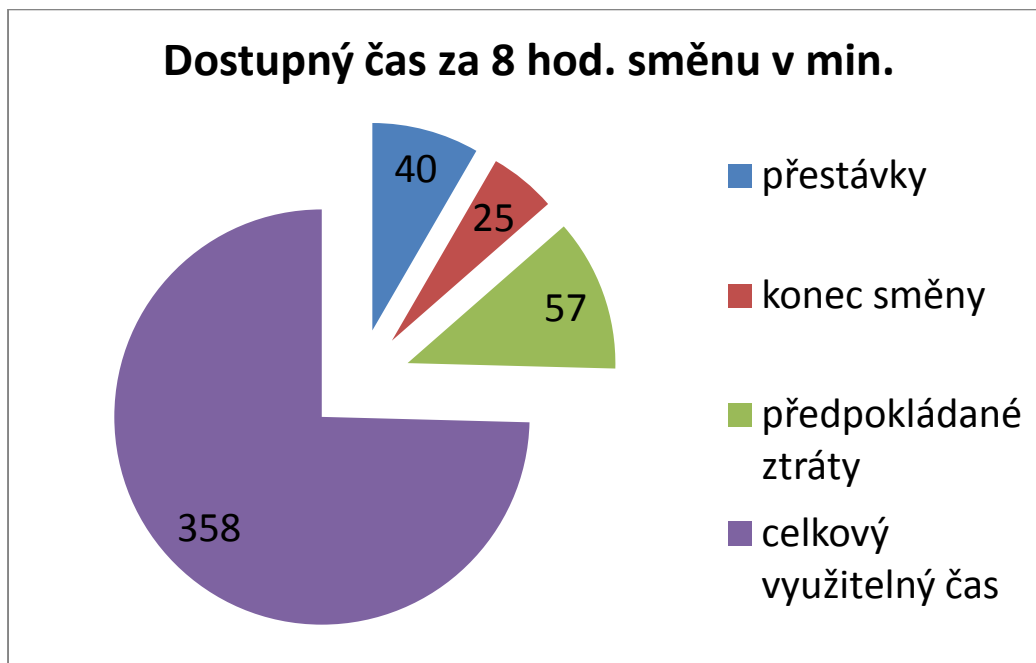
Přepravky s materiálem jsou na pracovišti uloženy do tak zvaných racků. Rack je spádový regál s válečkovými lištami. Tento regál je nastaven tak, aby přepravky s díly směřovaly dovnitř linky a prázdné přepravky ven z linky. Tím je usnadněna manipulace s přepravkami.

Systém doplňování materiálu formou navážení vláčkem, je momentálně ve zkušební fázi provozu. Množství daných komponent na lince je uvedeno v tabulce 2. Metodika zásobování se teprve vytváří, proto se k zásobování ještě vrátíme v kapitole navrhovaná řešení.

**Tab.2: Vláčkem dodávaný materiál na linku**

název	počet kusů v balení	počet balení na pracovišti
krouzek	1 000	1
dráž.krouzek, U-manzeta	250	1
pojistný krouzek	900	1
tlacná pružina	25	1
vak, mech	15	2
membrána	6 000	1
typový stítek	3 000	1
píst	120	1
tlacná pružina	500	1
kluzný krouzek	300	1
uzavírací zátka	300	1
pruchodka	10 000	1
pruchodka	5 000	1
ochranná krytka závitu	1 500	1
ochranná krytka závitu	1 500	1
kotouc	500	1
dráž.krouzek, U-manzeta	60	1
pojistný krouzek	1 000	1
víko	800	1
zdvihátko	100	1
trubka	600	1
příruba	80	2
objímka	750	1
odvzdušňovací ventil	750	1
pístnice	15	3
píst	35	1
O-krouzek	1 500	1
vodicí krouzek	100	1
kotouc	60	2

Pracovní doba na montážní lince je rozložena do tří směn, pět dní v týdnu. Z osmihodinové pracovní směny je potřeba odečíst 10 minut na přestávku, 30 minut na jídlo a 25 minut koncem směny na úklid a předání pracoviště.



**Obr.14: Dostupný pracovní čas**

Prostoje na lince jsou zaznamenány na listech z každé směny a po té se přepisují do firemního systému. Na obrázku 14 je vypočítán předpokládaný čistý dostupný čas za směnu a předpokládané ztráty jsou vypočteny z prostojů za 4 měsíce a ty byly zprůměrované na směnu.

Dále zde uvádím kapacitní propočty linky :

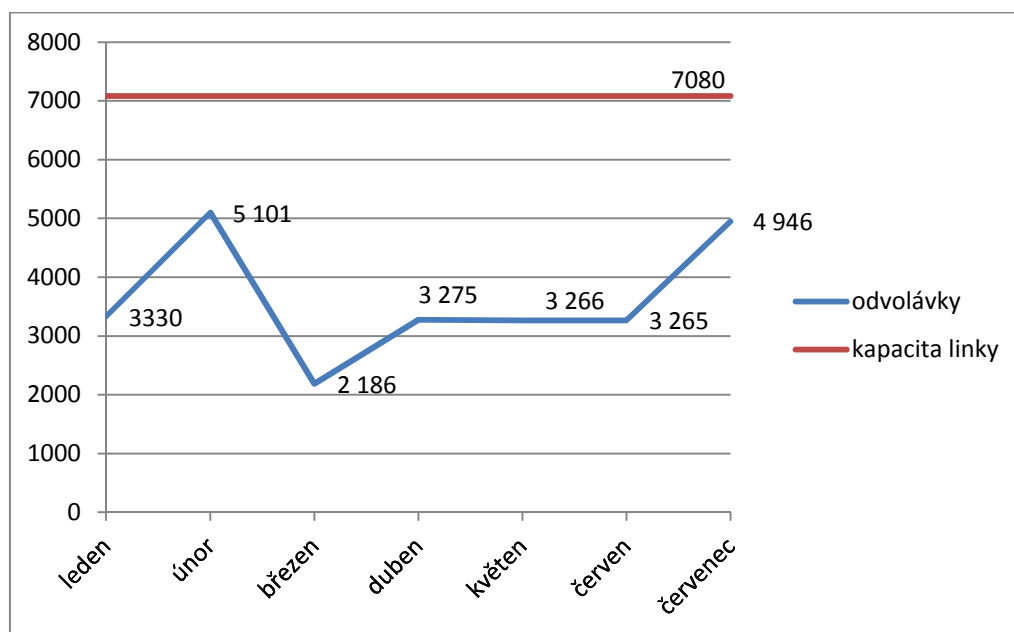
$$\text{zákaznický takt linky} = \frac{3510}{415} = \mathbf{6,87 \text{ min}}$$

$$\emptyset \text{ měsíční ztráty} = \mathbf{3420 \text{ min}}$$
 to odpovídá 14% dostupného času

$$\emptyset \text{ cyklový čas} = \mathbf{3,04 \text{ min}}$$

<b>Max. kapacita</b> za směnu	$= \frac{415}{3,04} = 136 \text{ ks}$
- „ - za den	$= 136 \cdot 3 = 408 \text{ ks}$
- „ - za měsíc	$= 408 \cdot 20 = 8\,160 \text{ ks}$
- „ - za rok	$= 8\,160 \cdot 12 = 97\,920 \text{ ks}$

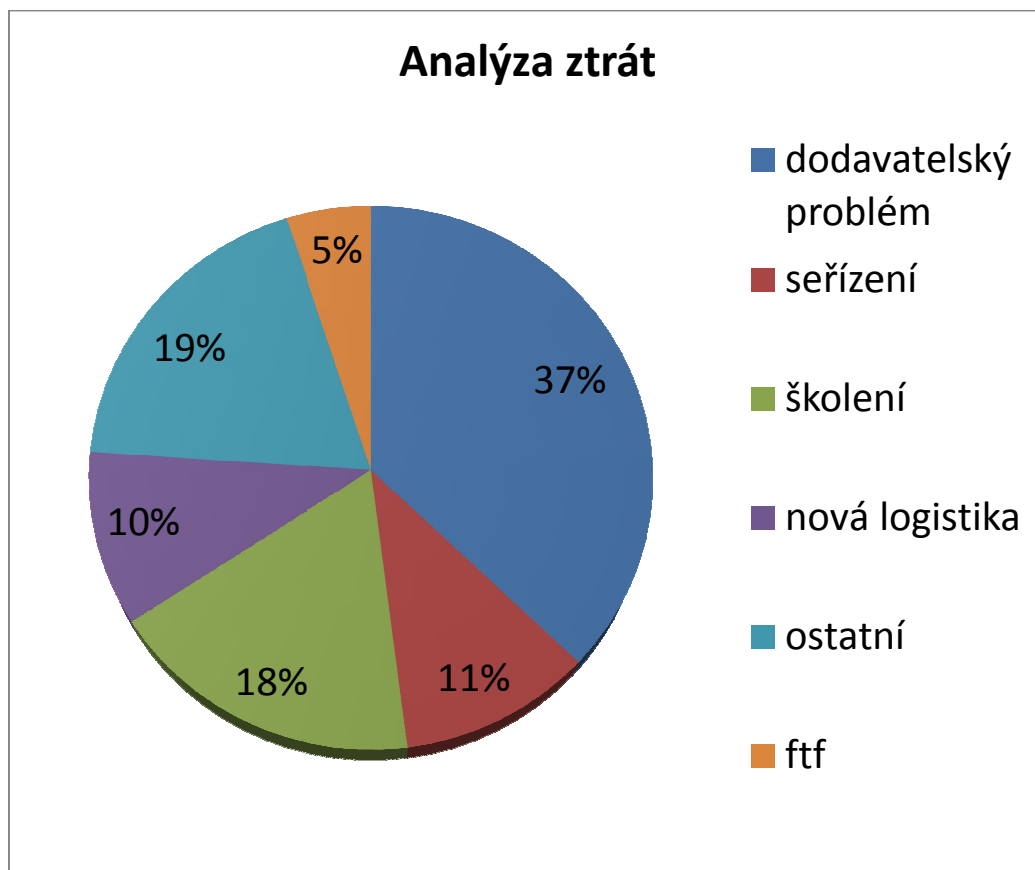
<b>Plánovaná kapacita</b> za směnu	$= \frac{358}{3,04} = 118 \text{ ks}$
„ - „ - za den	$= 118 \cdot 3 = 354 \text{ ks}$
„ - „ - za měsíc	$= 354 \cdot 20 = 7\,080 \text{ ks}$
„ - „ - za rok	$= 7\,080 \cdot 12 = 84\,960 \text{ ks}$



**Obr.15: Kapacita a zákaznické objednávky**

Na obrázku 15 je porovnávána plánovaná produkce na daný měsíc a plánovaná kapacita linky za měsíc. Kapacita linky je mnohem vyšší, než jsou požadavky zákazníka. Je zřejmé, že pokud by se požadavky zákazníků zvýšily, neměl by být problém s výrobou. Momentálně je tato rezerva řešena tak, že operátoři pracují nejen na této lince, ale jsou využíváni i na jiných montážích.

Sledováním prostojů v průběhu čtyř měsíců, bylo provedeno zhodnocení s těmito výsledky viz. obrázek 16.



**Obr.16: Porovnání prostojů**

Z celkového počtu prostojů činí problém s dodávanými díly na linku 37%. Průměrná ztráta času za jednu směnu v důsledku dodávky vadných dílů na linku činí 16 minut.

Podstatně menšími ztrátami jsou Ostatní, do kterých spadají náhodné málo vyskytující se jevy. Například jestliže si technolog potřebuje vyzkoušet funkci stroje na lince, prozkouší 5 kusů a pro operátora je to prostoj. Tyto ztráty činí průměrně 8 minut za směnu.

Prostoj v důsledku školení jsou řazeny na třetí pozici. Školení probíhá maximálně jednou týdně pro ranní směnu, a protože je málo operátorů na lince, účastní se školení všichni operátoři v dané směně. Školení informuje operátory o novinkách v procesu, firemních akcích, organizačních záležitostech, případných reklamacích a auditech na lince, aj. Průměrná ztráta v den školení pro danou směnu je 115,5 minuty.

Seřízení se nedá tolik ovlivnit, protože závisí na počtu odvolávek pro daný měsíc, což se dá vyčíslit na průměrnou hodnotu 5 minut za směnu.



Nová logistika jsou prostoje, které vznikali při zavádění nového systému zásobování.

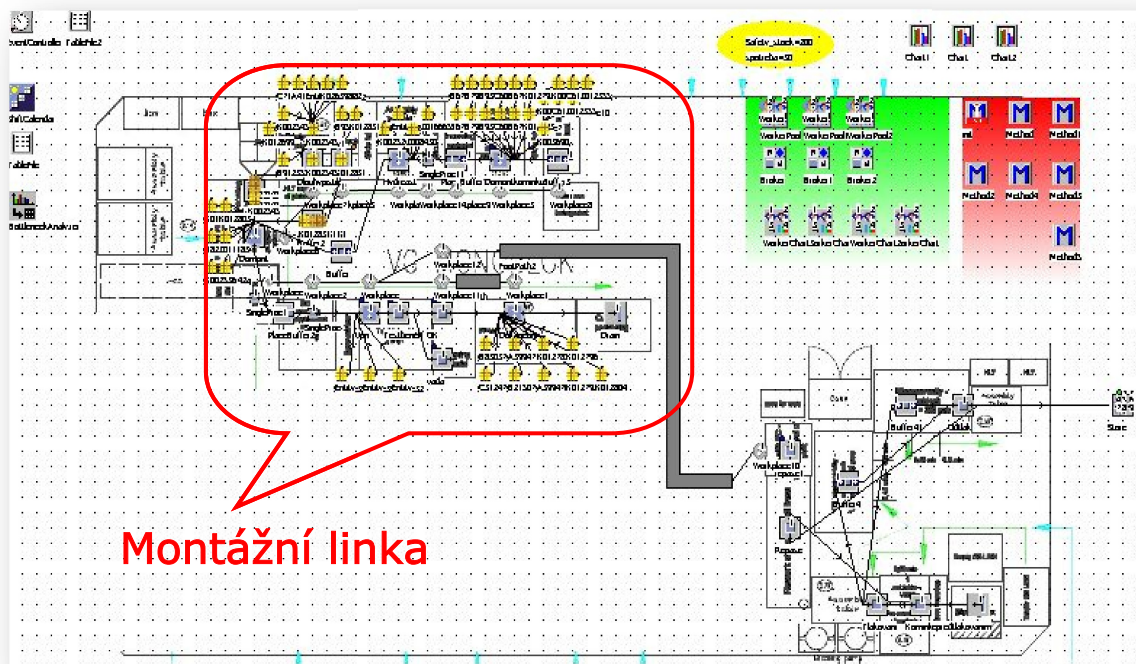
A FTF ztráty vznikají, jakmile je přístroj na zkušebním stavu vyhodnocen jako NOK.

Nejvyšší podíl prostojů, jak již bylo uvedeno, má dodávaný materiál. Dodávaný materiál prochází přes vstupní kontrolu. Kontroluje se buď již u dodavatele, což je dáno smlouvou a nebo je využíván tzv. skiptot. Skiptot je metoda kontroly vstupních dílů implementovaná do podnikového systému SAP. Na základě vzorce, je generována frekvence kontrol. Nový dílec znamená 100% kontrolu, bezproblémový dílec znamená kontrolu u každé třetí dodávky a po půlroce u každé šesté dodávky. U dílu s kritickými znaky se provádí kontrola u každé dodávky. Pokud jsou díly dlouhodobě v pořádku, vypadáva vstupní kontrola úplně. V tomto případě je podíl prostojů ještě v úrovni určité tolerance.

Nutno doplnit, že prostoje za poslední měsíce mají snižující se tendenci. Od začátku roku poklesly ztráty z prostojů až o 93%.

### *Simulační model*

Pro vytvoření modelu obrázek 17, byl využit firemní layout v měřítku, kterému odpovídá vizuální síť 0,24 m.

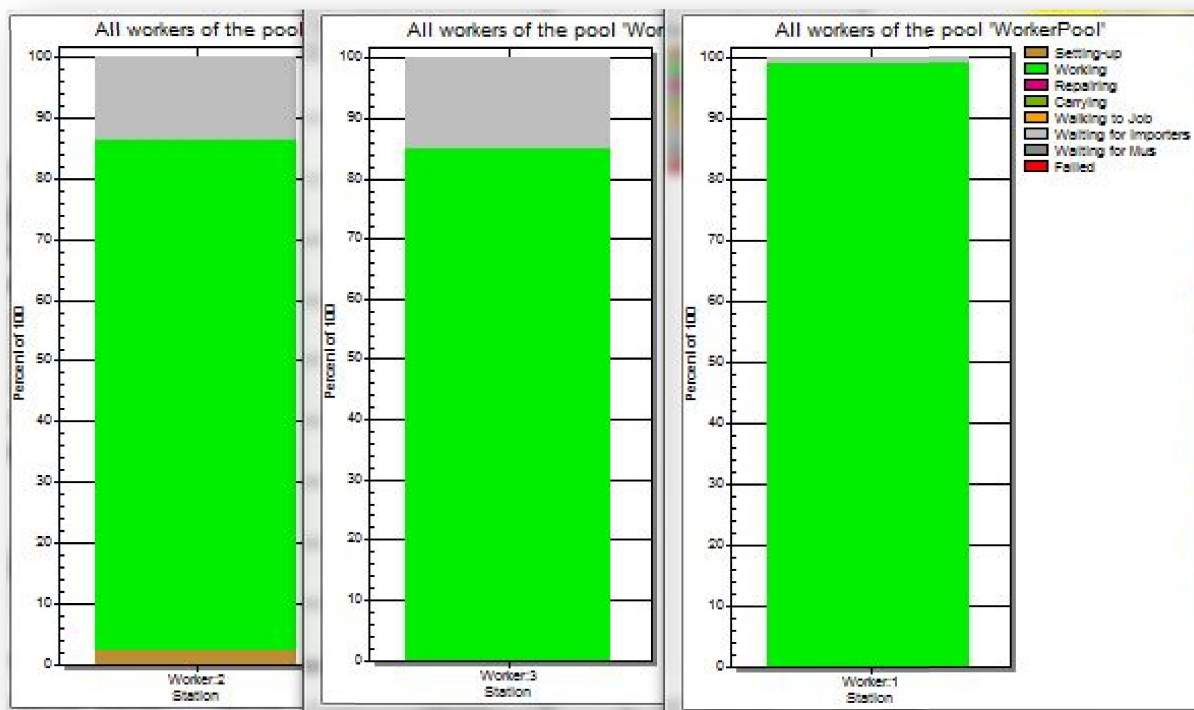


Obr.17: Simulační model

Po důkladné analýze montážního procesu byl vytvořen model v softwaru Plant Simulation a nastala fáze ladění, tak aby systém pracoval podle představ.

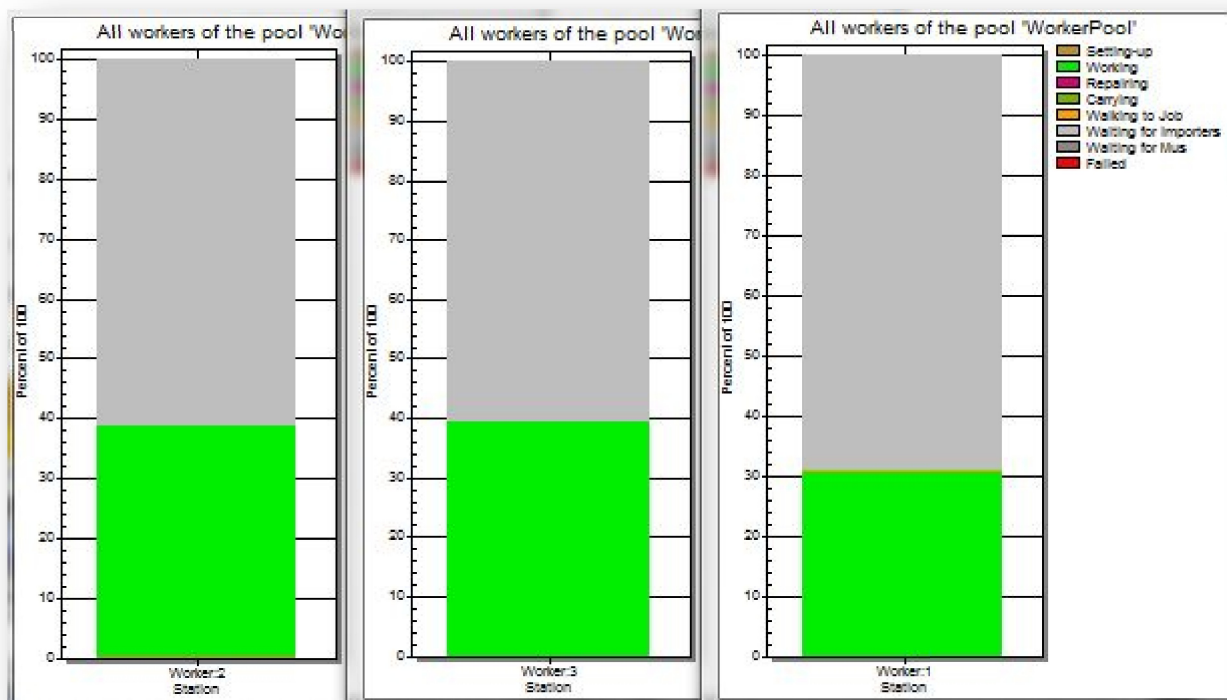
Podle odvolávek byl vytvořen imaginární plán výroby rozvrhován na měsíční dávky a to s výhledem šesti měsíců. Podrobné údaje o opravách byly opsány z plachet, které vypisuje každá směna zvlášť, a tyto záznamy jsou archivovány. Data byla zprůměrována a nastavena jako procentuální parametr NOK dílů, které jsou vyhodnoceny na operacích testování a odtlačování v simulačním modelu. Parametry nastavené pro poruchy a dostupnost stroje byly nastaveny z hodnot, které poskytlo oddělení údržby z firemního systému.

Ze simulace vyplývá, jak jsou vytíženi jednotliví operátoři. Pokud nastavíme linku na nepřetržitou montážní výrobu bez zakázek, vychází vytížení prvních dvou operátorů kolem 85%, třetí operátor „zkoušeč“ se za celou směnu „pořádně nezastaví“ (obrázek 18). *Zelená* značí práci, *šedá* čekání na dodávku a *hnědá* seřizování linky. Na seřizování linky spotřebuje operátor 1 průměrně 2% z celkového dostupného pracovního času.



Obr.18: Vytíženost operátorů při plné výrobě

Nastavíme-li simulační model podle průměrných měsíčních zakázek, je pracovní vytížení znázorněno na obrázku 19. První sloupec vypovídá o 38% aktivní činnosti operátora 1, o jedno procento více aktivity vyvíjí operátor 2, což je patrné z druhého sloupce. Operátora 3 zaměstnává montážní linka na 30% pracovní doby.



**Obr.19:** Vytíženost operátorů při zakázkové výrobě

Porovnáním obou grafů je potvrzena analýza kapacity montážní linky, z které vyplývá, že objem výroby podle zakázek zatím není tak vysoký, aby byla linka zcela vytížená.

Jednotlivá pracoviště byla simulací vyhodnocená následovně. Na obrázku 20 jsou výsledky vytížení pracovišť při využití kapacity linky. Pracovní vytížení je znázorněno zelenou barvou s procentuálním vyjádřením ve sloupci Working. Světla a tmavá modrá znázorňují přestávky a směnnost tedy Paused a Unplanned. Červenou barvou čili Failed je znázorněna porucha strojního zařízení. Sloupce jako Blocked – blokování, Set-Up - seřízení a Empty – nevyužití, jsou vyjádřeny pouze procenty. Waiting neboli čekání na materiál má barvu šedou. S toho například plyne, že pracoviště testbench – testování, je jako jediné blokováno

z 0,81% a čas seřízení byl pro simulační model využit pouze na jednom pracovišti a to Domontkominku operace 1.

Object	Working	Waiting	Blocked	Failed	Paused	Unplanned	Set-up	Empty	Start of Statistics Collection	Portion
Testbench	52.85%	12.82%	0.95%	4.68%	11.15%	17.54%	0.00%	12.78%	1:00:00:00.0000	
Domont	41.48%	29.83%	0.00%	0.00%	11.15%	17.54%	0.00%	10.89%	1:00:00:00.0000	
Domontkominku	28.23%	41.25%	0.00%	0.00%	11.15%	17.54%	1.82%	18.18%	1:00:00:00.0000	
Hydracast	21.92%	49.39%	0.00%	0.00%	11.15%	17.54%	0.00%	25.03%	1:00:00:00.0000	
Vak	7.84%	63.47%	0.00%	0.00%	11.15%	17.54%	0.00%	0.00%	1:00:00:00.0000	
Dlouhyst	17.64%	53.67%	0.00%	0.00%	11.15%	17.54%	0.00%	0.01%	1:00:00:00.0000	
Dokonceni	45.51%	25.79%	0.00%	0.00%	11.15%	17.54%	0.00%	22.38%	1:00:00:00.0000	
Upn	3.87%	67.44%	0.00%	0.00%	11.15%	17.54%	0.00%	22.35%	1:00:00:00.0000	

**Obr.20:** Vytíženost pracovišť při plné výrobě

Pro porovnání viz obrázek 21, jsou zde obdobná data využití pracovišť jako u předešlé tabulky, avšak při zakázkové výrobě.

Object	Working	Waiting	Blocked	Failed	Paused	Unplanned	Set-up	Empty	Start of Statistics Collection	Portion
Testbench	18.01%	40.87%	0.30%	3.95%	9.80%	27.07%	0.00%	40.85%	1:00:00:00.0000	
Domont	14.14%	49.00%	0.00%	0.00%	9.80%	27.07%	0.00%	42.40%	1:00:00:00.0000	
Domontkominku	9.62%	53.46%	0.00%	0.00%	9.80%	27.07%	0.05%	45.10%	1:00:00:00.0000	
Hydracast	7.47%	55.66%	0.00%	0.00%	9.80%	27.07%	0.00%	47.12%	1:00:00:00.0000	
Vak	2.67%	60.46%	0.00%	0.00%	9.80%	27.07%	0.00%	0.00%	1:00:00:00.0000	
Dlouhyst	6.01%	57.12%	0.00%	0.00%	9.80%	27.07%	0.00%	0.00%	1:00:00:00.0000	
Dokonceni	15.59%	47.55%	0.00%	0.00%	9.80%	27.07%	0.00%	46.45%	1:00:00:00.0000	
Upn	1.32%	61.82%	0.00%	0.00%	9.80%	27.07%	0.00%	46.63%	1:00:00:00.0000	

**Obr.21:** Vytíženost pracovišť při zakázkové výrobě

Ze simulace montážní výroby je možné si ověřit kapacitu linky. Experimentováním jsem si rovněž ověřila mezioperační zásoby na lince. Aby totiž operátor nemusel tak často přecházet z pracoviště na pracoviště, vytvoří si větší zásoby pro další operaci. Došlo sice na jedné straně k navýšení produkce, ale vzhledem k tomu, že linka není uzpůsobena pro takový objem předzásob (jak z hlediska prostorového uspořádání, tak z hlediska udržení kvality při výrobě), je vytváření větších zásob v procesu nevhodné.

Simulací se tedy dá ověřit spousta situací, které mohou ovlivnit proces. Dále jsem simulaci využila hlavně při ověřování návrhů řešení.

V simulačním modelu jsem experimentovala i počtem operátorů na lince, protože dle výsledků níže uvedených, by měli pro montážní pracoviště stačit pouze operátoři dva.

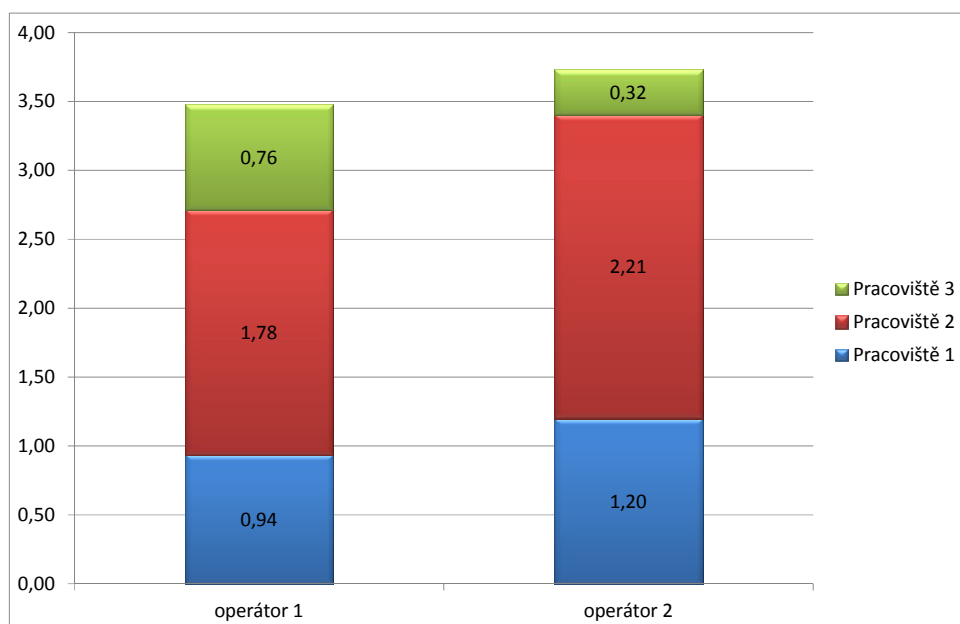
Stanovení počtu operátorů na lince:

***Celková cista pracnost = součet všech operací = 9,17 min***

***Pracnost = celková pracnost · využití fondu pracovní doby =***  
***= 9,17 · 0,86 = 7,93 min***

***Pocet operatoru =  $\frac{\text{celková pracnost}}{\text{takt time}} = \frac{9,17}{6,89} \approx 2 \text{ operatori}$***

Po vytaktování vypadá rozložení operací mezi operátory viz. obrázek 22. Bohužel nelze linku vytaktovat lépe než s 0,24 minutovým rozdílem.



**Obr.22: Rozložení operací mezi 2 operátory**

Celkový rozdíl součtu časů operací, které byly rozděleny mezi operátory 1 a 2 činí 0,25 minut. Dále nám simulace odhalila, k jakým ztrátám by na lince došlo. V modelu sice nebylo nově vytvořeno uspořádání pracoviště tak, aby



vyhovovalo sledu operací pro každého operátora, ale na druhou stranu nebyly započítány velmi dlouhé přechodové trasy. Za současného plánu zakázek, by operátoři stihli montovat. Ale kapacita linky by se snížila o 1000 kusů za měsíc. Operátoři by byli více vytěžováni a navíc tok materiálu linkou by byl na první pohled velmi chaotický. Toto rozdělení operací se dá využít při nižším objemu zakázek a za předpokladu, že by byla linka uspořádána zcela jinak.

#### Zhodnocení nedostatků z analýzy:

- Na první pohled se linka jeví jako příliš malá na zpracování tak velkého množství materiálu. Prostor uprostřed linky vyložen stolky s bedýnkami, v nichž je uložen předmontovaný materiál a tím je prostor pro pohyb operátorů značně omezen.
- Na žádné ze směn nebylo zaznamenáno, že by operátoři dodržovali objem mezioperačních zásob u předmontovaných dílů podle návodek. Touto činností je vytvářen problém s dodržováním kvality. Ku příkladu na místo, které je přizpůsobeno pro umístění šesti dílů, se odloží osm dílů, hrozí tedy těmto dílům buď poškrábání a nebo poškození. Každá činnost na montážní lince by se měla opírat o standardizované postupy, které jsou vyvěšeny na každém pracovišti. [5] Standardizace je mimo jiné podpůrným prostředkem k zajišťování jakosti ve výrobě. [5] Tyto standardy by si v podstatě měli operátoři ve spolupráci s technologem vytvořit sami. [5] Je ovšem důležité operátory přesvědčit, že tyto postupy fungují jako podpůrný prostředek a přitom dávají prostor pro jejich zlepšování. [5] Kdo jiný zná proces tak dobře než právě dělník. Pracovník by měl žít v přesvědčení, že on je ten, na němž závisí prosperita firmy. [5]
- K dalšímu problému dochází na pracovišti testování, kde se hromadí počet dílů k odzkoušení a je to řešeno opět bednou, která je umístěna do prostoru uprostřed linky.

- Při montáži není dodrženo FIFO.
- Není stanoven jízdní řád pro zavážení linky materiálem

Nedostatky vyplývající ze simulace:

- Operátor chodí příliš daleko s opravou dílu - zdržení při výrobě
- Testování po opravě se provádí na lince, což blokuje výrobu.

## 2.3 Návrhy řešení

Navrhnout pracoviště tak, aby stávající nedostatky byly eliminovány. Současná uspořádání montážní linky je by bylo vhodné, pokud by se v jeho středu nehromadil výrobní materiál.

Navrhnout frekvenci zásobování montážní linky Milk runem - vláčkem.

### 2.3.1 Návrh řešení číslo 1

Operace 1 a 2 (obrázek 23) byly posunuty více doprava, aby se do uvolněného prostoru vešel montážní stůl pro operaci 5 a napříč pracoviště pro operace 3 a 4. Pracoviště pro operace 6 a 7 je vůči operaci 5 orientováno stejně jako v původním uspořádání. Tak, aby již byla tělesa připravená k domontování, je v návrhu znázorněno místo pro umístění s názvem „tělesa“.





- Tento návrh je optimálním řešením ke zlepšení ergonomie a bezpečnosti práce na pracovišti. Nové uspořádání také zajišťuje dodržování FIFO při výrobě. Dále je zlepšena přehlednost toku materiálu montážní linkou a vznikl prostor pro možné umístění pracoviště oprav blíže k montážní lince.

U druhého návrhu (obrázku 24) jsem se soustředila opět na tok materiálu ovšem s větší úsporou místa, než byl návrh první. Operace 5 zůstává na svém místě. Pracoviště pro operace 3 a 7 bylo prohozeno s pracovištěm pro operace 6 a 7. Operace 1 a 2 jsou opět situovány jakoby mimo linku.



V rámci toto návrhu:

- Byl by zachován plynulý tok materiálu linkou
- Došlo by ke zvýšení produkce o 3%
- Nebylo by potřeba tolik měnit layout ostatních linek
- Zásobování by bylo jednoduché

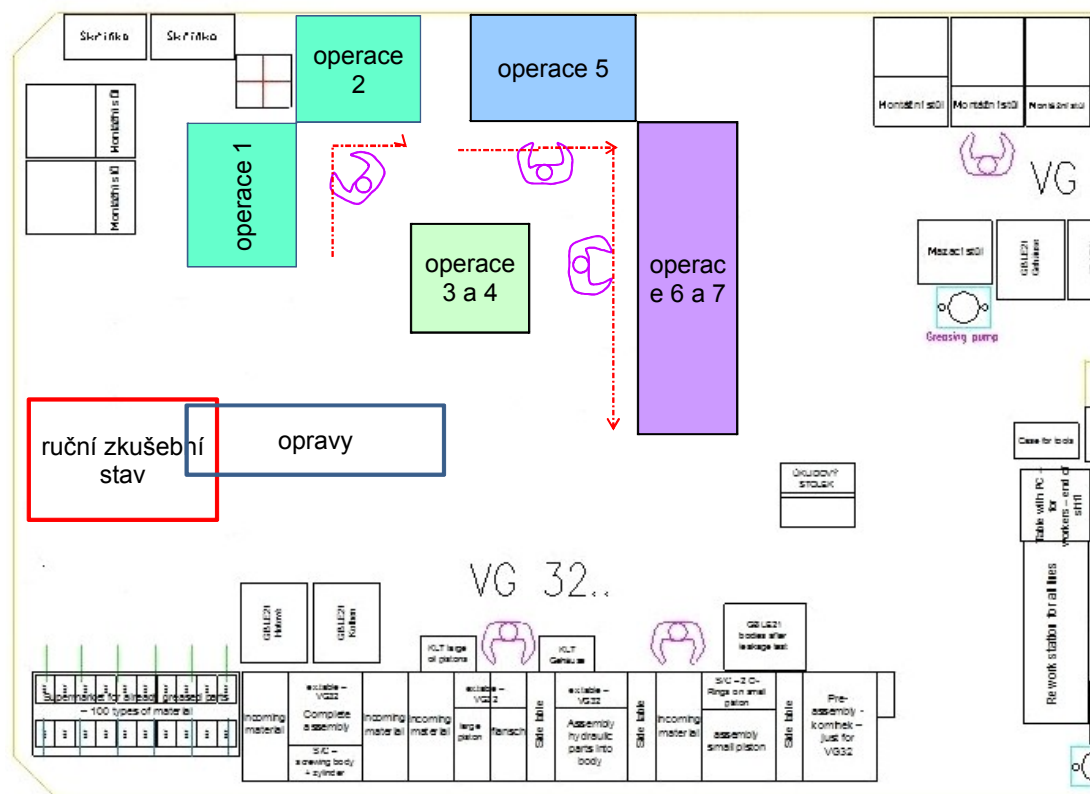
Čím by bylo nutné se dále zabývat:

- Operátorovi 2 by přibyla montáž vaku (operace 3) a tím by byl rozhozen takt linky
- Navýšení plochy pracoviště na úkor ostatních montážních linek

I tento návrh je optimálním řešením ke zlepšení ergonomie a bezpečnosti práce na pracovišti. I toto uspořádání zajišťuje dodržování FIFO při výrobě. Přehlednost toku materiálu je také zlepšena, avšak na úkor vytížení operátora 2, kterému přibyla montážní operace 3. Rovněž by nebylo vhodné využít vzniklý prostor pro umístění pracoviště oprav blíže k montážní lince. Zvýšení produkce je zanedbatelné.

### *2.3.3 Návrh řešení číslo 3*

Pracoviště na obrázku 25 je zcela jinak situované než původní. Uspořádané je do tvaru širokého U a uvnitř je umístěna montáž vaku (operace 3) a dlouhého pístu (operace 4). Operace 1 a 2 plynule navazují na operaci 5.



**Obr.25: Návrh Layout 3**

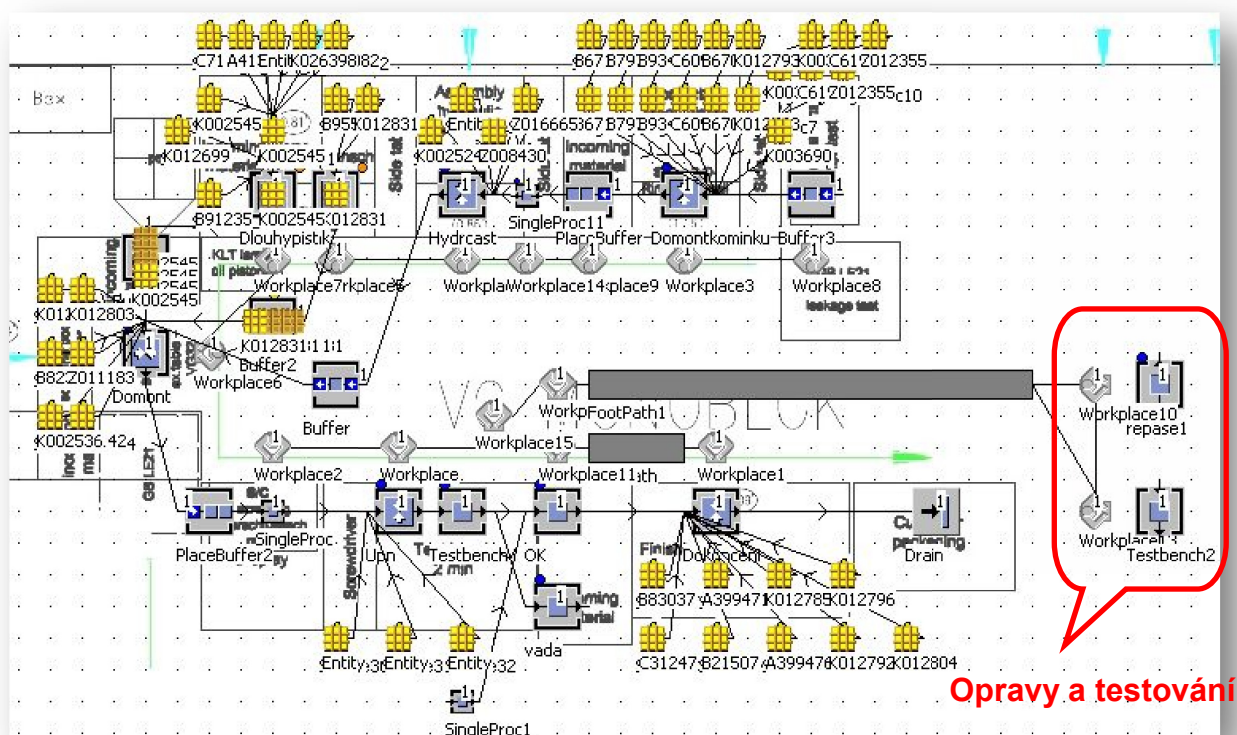
V rámci toto návrhu:

- Montážní linka se vejde na ten samý prostor jako linka původní
- Je zajištěn plynulý tok materiálu montážní linkou
- Není potřeba měnit layout ostatních linek
- Jednoduché zásobování materiálem
- Zvýšení produkce o 5%

Tento návrh z hlediska uspořádání zabírá nejméně prostoru vzhledem k ostatním montážním linkám. Layout ostatních linek se tedy nemusí měnit. I zde je zlepšena ergonomie a bezpečnost práce na pracovišti. Při výrobě je i v tomto případě zajištěno dodržování FIFO. Je zde přehledný tok materiálu linku a hlavně je zvýšena výkonnost operátorů. Pokud by bylo možné zajistit nový univerzální zkušební stav, mohl by být umístěn místo stávajícího starého ručního stavu a k němu by bylo připojeno pracoviště oprav, zkrátila by se i délka trasy k případným opravám – úspora času.

### 2.3.4 Návrh řešení číslo 4

Pracoviště testování a dokončení blokuje celou linku mimo jiné tím, že díly po opravách se znovu zkoušejí na tom samém testovacím zařízení. Řešením může být ještě jedno pracoviště testování umístěné poblíž pracoviště oprav. Na obrázku 25 je znázorněn model návrhu řešení. V návrhu se počítá s tím, že opravy a následné testování bude provádět externí operátor. Testovací zařízení by mohlo být univerzální, pro zkoušení různých typů přístrojů z více montáží.



Obr.26: Simulační model s novým test. zařízením

Porovnáním výsledků simulace základního modelu a navrhovaného modelu byly shledány tyto poznatky:

- Externí operátor není zcela vytížen, musel by obstarávat i opravy z jiných montáží
- Zvýšení nákladů na operátora
- Díly po odzkoušení musí být stejně přesunuty k operaci dokončení

- Nákup nového testovacího zařízení vyžaduje velkou investici
- Snížila se produkce o 3%

Tento návrh nezohledňuje ergonomii ani bezpečnost práce, je zaměřen jen na eliminaci nejužšího místa na lince. V tomto případě je úzké místo pracoviště testování a dokončení, protože dochází před tímto pracovištěm k hromadění přístrojů, i když je operátor – zkoušeč zcela vytížen. Nové testovací zařízení si žádá velké investice s nejistou návratností, která závisí z velké části na množství zakázek respektive využitelnosti testovacího zařízení a nemalé náklady na dalšího operátora.

#### 2.3.5 Návrh řešení číslo 5

Poslední návrh se týká zásobování linek materiálem. Zavážení již probíhá formou vláčku, který rozváží díly po celé výrobní hale 1x za hodinu a při tom manipulant kontroluje, zda je někde materiál potřeba doplnit. Ale není stanoven jízdní řád, podle něhož by byl materiál pravidelně na linku dovážen. Pro výpočet jednotlivých časů bylo potřeba zjistit, jaké množství konkrétního materiálu je obsaženo v balení na lince a v jakém typu balení. Návrh časů ke každému typu materiálu je znázorněn v tabulce 3.

**Tab.3 Jízdní řád**

název	počet kusů v balení	počet balení na pracovišti	čas zavážení
krouzek	1 000	1	1:00:00:00.00
dráž.krouzek, U-manžeta	250	1	6:30:00.00
pojistný krouzek	900	1	1:00:00:00.00
tlačná pružina	25	1	0:30:00.00
vak, mech	15	2	0:30:00.00
membrána	6 000	1	6:00:00:00.00
typový stítek	3 000	1	3:00:00:00.00
píst	120	1	5:00:00.00
tlačná pružina	500	1	12:00:00.00
kluzný krouzek	300	1	6:30:00.00

uzavírací zátka	300	1	6:30:00.00
pruchodka	10 000	1	10:00:00:00.00
pruchodka	5 000	1	5:00:00:00.00
ochranná krytka závitů	1 500	1	1:12:00:00.00
ochranná krytka závitů	1 500	1	1:12:00:00.00
kotouc	500	1	12:00:00.00
dráž.kroužek, U-manžeta	60	1	5:00:00.00
pojistný kroužek	1 000	1	1:00:00:00.00
víko	800	1	1:06:00:00.00
zdvíhátko	100	1	6:00:00.00
trubka	600	1	15:00:00.00
príruba	80	2	5:00:00.00
objímka	750	1	1:06:00:00.00
odvzdušnovací ventil	750	1	1:06:00:00.00
pístnice	15	3	1:30:00.00
píst	35	1	1:30:00.00
O-kroužek	1 500	1	1:12:00:00.00
vodicí kroužek	100	1	5:00:00.00
kotouc	60	2	5:00:00.00
pruchodka	1 000	1	1:00:00:00.00

Výpočet vychází z produkce 16 ks/hod přístrojů a při plné výrobě. Záleží tedy zcela na provozu linky, pokud poklesne výroba, časy se samozřejmě prodlouží. Při návrhu se plán zavážení vložil do simulačního modelu, aby bylo zásobování ověřeno.

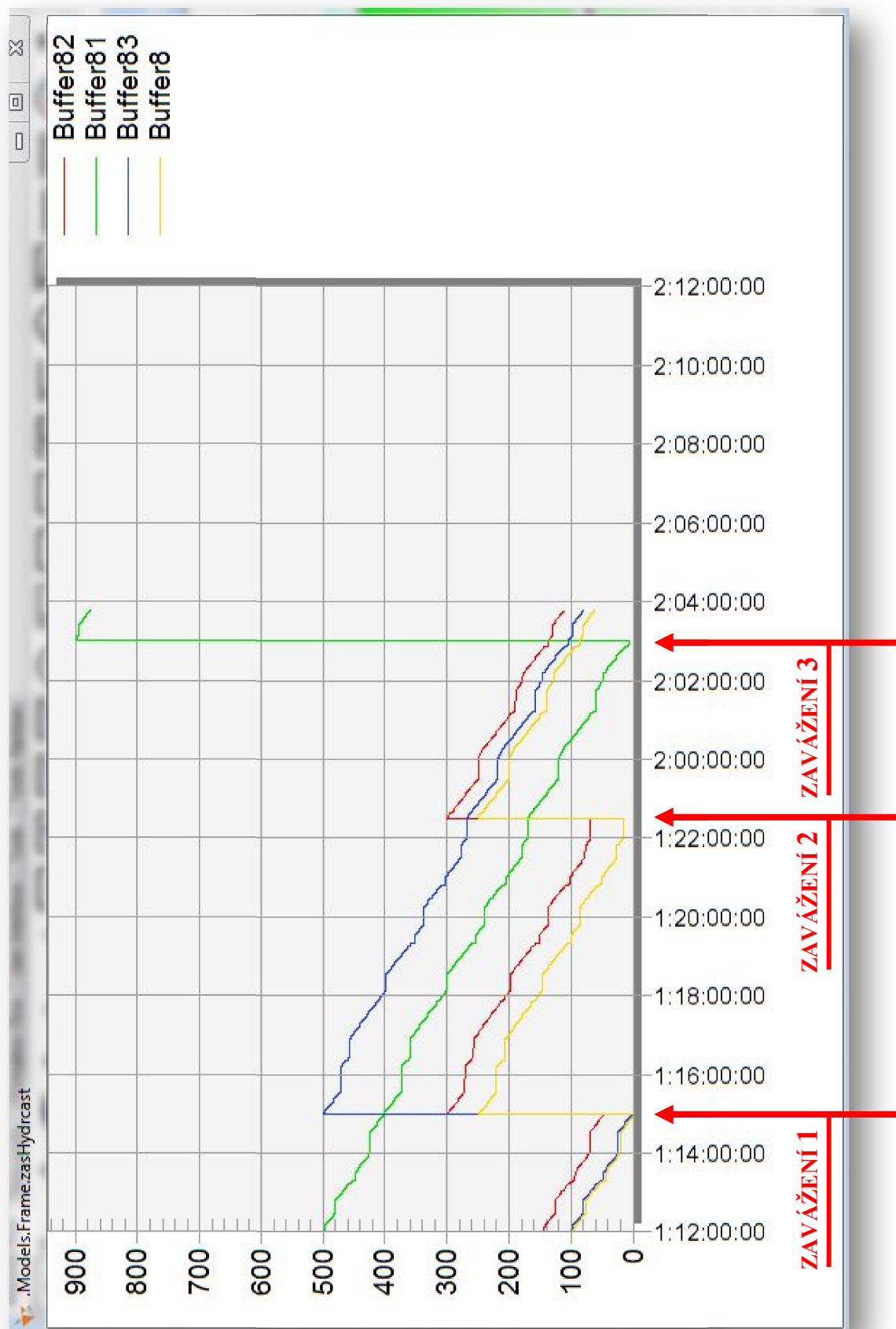
Zavážení pro operaci 2 montáž hydraulické části je znázorněno na obrázku 27. Je zde zobrazen plynulý tok spotřeby čtyř druhů materiálu v různých objemech uložených na pracovišti.

Buffer 8 – barva žlutá = drážkovaný kroužek, U-manžeta

Buffer 83 – barva modrá = tlačná pružina

Buffer 81 – barva zelená = pojistný kroužek

Buffer 82 – barva červená = kluzný kroužek



Obr.27: Zavážení linky materiálem

V čase, označeném jako Zavážení<sup>1</sup>, odpovídající hodnotě 1den a 15 hodin bylo zásobeno pracoviště žlutým, modrým a červeným typem materiálu podle jízdního řádu. Zavážení<sup>2</sup> v 1den 22 hodin 30minut proběhlo zásobování jen u žlutého a červeného typu a v čase 2den 3hodiny došlo k zásobení zeleným typem materiálu v místě Zavážení<sup>3</sup>.

V rámci tohoto návrhu

- Zlepšil se přehled o zásobování materiálem
- Byl získán přehled o množství materiálu v určitém časovém rozpětí
- Jsou eliminovány prostoje z nedostatku materiálu při výrobě
- Minimalizace zásob na pracovišti

Manipulant ví, kdy má jaký materiál přivést přímo na linku. Ušetří čas, protože pojede na jistotu k lince. Systém zajistí pravidelnou dodávku materiálu a pokud se bude manipulant řídit podle plánu, nedojde k zastavení linky kvůli nedostatku komponent. Jízdní řád s pravidelným zásobováním minimalizuje zásoby na lince.



## 2.4 Vyhodnocení návrhů

Změnou uspořádání linky v několika variantách byla řešena úzká místa v toku materiálu a v ergonomii pracoviště. Pracovní prostor pro pohyb operátorů se zvětšil, a tím vzniklo místo pro odkládání mezioperačních zásob tak, aby byly na dosah, ale nepřekážely při pohybu operátorů po pracovišti. Zároveň byl brán ohled na snadný přístup k jednotlivým operacím při zásobování.

Ke všem variantám byl vytvořen simulační model, který byl důkladně prozkoušen, a podle výsledků bylo nalezeno nejoptimálnější řešení.

		Současný stav	Návrh 1	Rozdíl %	Návrh 2	Rozdíl %	Návrh 3	Rozdíl %	Návrh 4	Rozdíl %
	<b>Kapacita linky</b>	412 ks/den	446 ks/den	<b>7%</b>	425 ks/den	<b>3%</b>	439 ks/den	<b>5%</b>	399 ks/den	<b>-3%</b>
<b>Vytíženost pracovišť</b>	<b>Domont kominku</b>	25,03%	23,77%	<b>-5%</b>	25,84%	<b>3%</b>	24,82%	<b>-1%</b>	23,90%	<b>-4%</b>
	<b>Hydrcast</b>	19,48%	18,49%	<b>-5%</b>	20,09%	<b>3%</b>	19,30%	<b>-1%</b>	18,59%	<b>-4%</b>
	<b>Vak</b>	6,96%	6,61%	<b>-5%</b>	7,17%	<b>3%</b>	6,89%	<b>-1%</b>	6,64%	<b>-4%</b>
	<b>Dlouhý píst</b>	16,65%	14,86%	<b>-11%</b>	16,14%	<b>-3%</b>	15,51%	<b>-1%</b>	14,94%	<b>-10%</b>
	<b>Domontování</b>	36,70%	35%	<b>-7%</b>	37,73%	<b>3%</b>	36,38%	<b>-1%</b>	35,18%	<b>-4%</b>
	<b>Testbench</b>	47%	50,22%	<b>7%</b>	48,46%	<b>3%</b>	46,58%	<b>-1%</b>	40,82%	<b>-13%</b>
	<b>Dokončení</b>	40,68%	38,62%	<b>-5%</b>	41,95%	<b>3%</b>	40,32%	<b>-1%</b>	38,82%	<b>-4%</b>

Každý návrh je porovnán se současným stavem a výsledky jsou uvedeny v tabulce. V prvním sloupci jsou uvedeny výsledné hodnoty ze simulačního modelu nastaveného podle současného stavu, s tím rozdílem, že výroba probíhá nepřetržitě. Sloupce s růžovým podbarvením vždy zhodnocují rozdíl mezi návrhem uvedeným vlevo a současným stavem. Ze simulačního modelu plyne, že návrh 2 by byl nejvhodnějším řešením. Změnou linky by došlo k navýšení produkce o 3% a jednotlivá pracoviště jsou vytížena o 3% více než za současného stavu. Způsob zásobování linky zůstává stejný. K realizaci tohoto návrhu by bylo třeba pořídit pouze nové zásobníky na předmontované díly, což není velká investice. Tyto zásobníky by měly odpovídat danému typu a množství předmontovaného dílu, aby nebylo možné množství libovolně měnit.

Návrh na frekvenci zásobování je čistě orientační, protože dodávka se řídí spotřebou. A spotřebu udává množství zakázek.

### 3 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zanalyzování montážní linky včetně zásobování, nalezení úzkých míst a navržení nejlepšího možného řešení.

V úvodní části jsem definovala veškeré nástroje a metodiky, které byly posléze použity v praktické části. K nástrojům štíhlé výroby je přidán pojem simulace a nástroje simulace.

Nejdříve jsem představila firmu KNORR BREMSE a následně jsem popsala současný stav montážní linky. Nejprve byl popsán výrobní proces včetně vybalancování operací a zanalyzováno zásobování linky. Na základě získaných a vypočítaných parametrů byl vytvořen simulační model, který se stal základem k tvorbě návrhů. Podle analýzy byla zjištěna úzká místa, na jejichž eliminaci se zaměřily návrhy řešení.

Tvorba diplomové práce nebyla vůbec jednoduchá. V průběhu získávání dat, byla linka přestavěna. Sice tím byla eliminována spousta nedostatků, ale protože data o předchozím stavu nebyla kompletní, práce se vrátila na začátek. Ještě mnohem komplikovanější byla tvorba simulačního modelu. Tak, aby model odpovídal skutečnosti, to vyžadovalo spousty času a trpělivosti.

Hlavním přínosem této práce je nalezení řešení k odstranění nedostatků montážní linky, při kterém nedojde k poklesu výrobní kapacity, ke zvýšení výrobních nákladů ani k poklesu výkonnosti operátorů.

## 4 Seznam obrázků

Obr.1 Toyota Production System „dům“[5].....	10
Obr.2 Cyklus metodiky DMAIC .....	11
Obr.3 Kanban – princip řízení výroby [4].....	13
Obr.4 Rozložení zakázek.....	15
Obr.5 Před balancováním linky [6].....	17
Obr.6 Po balancování linky[6].....	17
Obr.7 Pracovní prostředí Plant Simulation.....	20
Obr.8 Monoblok.....	22
Obr.9 Layout montáže.....	25
Obr.10 Spagetti diagram pohybu operátorů na lince.....	26
Obr.11 Rozložení operací mezi operátory.....	27
Obr.12 Malá KLT přepravka.....	29
Obr.13 Velká nízká KLT přepravka.....	30
Obr.14 Dostupný pracovní čas.....	31
Obr.15 Kapacita a zákaznické objednávky.....	32
Obr.16 Porovnání prostojů.....	33
Obr.17 Simulační model.....	34
Obr.18 Vytíženost operátorů při plné výrobě.....	35
Obr.19 Vytíženost operátorů při zakázkové výrobě.....	36
Obr.20 Vytíženost pracovišť při plné výrobě.....	37
Obr.21 Vytíženost pracovišť při zakázkové výrobě.....	37
Obr.22 Rozložení operací mezi 3 operátory.....	38
Obr.23 Návrh Layoutu 1.....	41
Obr.24 Návrh Layoutu 2.....	42
Obr.25 Návrh Layoutu 3.....	44
Obr.26 Simulační model s novým test. zařízením.....	45
Obr.27 Zavážení linky materiálem.....	48

## 5 Seznam tabulek

Tab.1: Kusovník.....	25
Tab.2: Vlákem dodávaný materiál na linku.....	30
Tab.3 Jízdní řád.....	46

## Literatura

- [1] **Dlouhý, Martin, Fábry, Jan, Kuncová, Martina, Hladík, Tomáš.** *Simulace podnikových procesů*. Brno: Computer Press, 2007. 978-80-251-1649-4.
- [2] **Dlouhý, Martin, Jablonský, Josef.** *Využití simulace při analýze podnikových procesů* <http://www.vse.cz/polek/download.php?jnl=aop&pdf=286.pdf>
- [3] **Klečka, Jiří, Matějka, Marcel.** *Nové podnikové systémy*. Praha: Oeconomica, 2006. 80-245-0702-1
- [4] **Daněk, Jan, Plevný, Miroslav.** *Výrobní a logistické systémy*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2005. 80-7043-416-3
- [5] **Liker, Jeffrey K.** *Tak to dělá Toyota*. Praha: Management Press, 2008. 978-80-7261-173-7
- [6] <http://www.businessinfo.cz/cz/clanek/management-msp/slovník-prumysloveho-inzenyrstvi/1001663/52893/>
- [7] AIMagazine on-line informační technologie pro průmysl  
<http://www.aimagazine.cz/vyroba/60-just-in-sequence-aneb-na-rude-auto-ruda-zrcatka>
- [8] Axiom tech. <http://www.axiomtech.cz/page/68099.digitalni-tovarna-tecnomatix-plant-simulation/>
- [9] WWW.vlastnicestacz: DMAIC <http://www.vlastnicesta.cz/metody/metody-kvalita-system-kvality-iso/dmaic-metoda/>
- [10] Verein Netzwerk Logistik <http://www.vnl.at/JIS.290.0.html>
- [11] **Imai, Masaaki.** *KAIZEN metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku*. Brno: Computer Press,a.s.,2008. 978-80-251-1621-0
- [12] **Sixta, Josef, Mačát,Václav.** *LOGISTIKA teorie a praxe*. Brno: Computer Press, a.s., 2005. 80-251-0573-3
- [13] Academy of Productivity and Inovations <http://e-api.cz/page/68344.heijunka/>
- [14] Centrum průmyslového inženýrství  
[http://www.centrumpi.eu/slovník\\_view.aspx?id\\_s=40](http://www.centrumpi.eu/slovník_view.aspx?id_s=40)
- [15] **Vývojový tým vydavatelství Productivity Press.** *Systém taku ve výrobním prostředí*. Brno: SC&C Partner, spol. s r.o., 2008. 978-80-904099-0-3